



Universidad
Carlos III de Madrid

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROYECTO FIN DE CARRERA

ANÁLISIS DE VIBRACIONES DE UN WHEELSET CON DIFERENTES NIVELES DE DEFECTO

AUTOR: MIGUEL CONTRA VECINO

TUTOR: Dr. HGINIO RUBIO ALONSO

COTUTOR: ZOSER KALENGAYI TSHILUMBU

Leganés, Julio 2015

Título: Análisis de vibraciones de un wheelset con diferentes niveles de defecto.

Autor: Miguel Contra Vecino

Tutor: Dr. Higinio Rubio Alonso

Cotutor: Zoser Kalengayi Tshilumbu

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día___ de _____ de 20__ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Agradecimientos

A mis padres
por hacer posible que sea ingeniero,
a ellos, a mis hermanos y familia
por su apoyo incondicional.
A mis amigos y compañeros en la carrera
por compartir este camino.
A Higinio y a Zoser por su paciencia
y guía a lo largo del proyecto.

Resumen

El presente proyecto ‘Análisis de vibraciones de un wheelset con diferentes niveles de defecto’, tiene por objeto principal el modelado, análisis modal e impulsivo de un wheelset ferroviario, por medio de la utilización del software Creo Elements/PRO. Continuaremos la línea de investigación establecida, incorporando nuevos elementos como el estudio de medidas estadísticas a los resultados de los ensayos dynamic time.

Una vez realizada la exposición de la motivación y objetivos del proyecto, mostraremos la base teórica sobre la que hemos desarrollado el proyecto. Conceptos como vibraciones mecánicas y análisis modal y su ámbito de aplicación. Conoceremos los elementos mecánicos principales que conforman el material rodante ferroviario. Analizaremos el contacto rueda-raíl, introduciremos brevemente el concepto de fatiga y analizaremos las medidas estadísticas con las que vamos a trabajar. Nos acercaremos a los Métodos de Elementos Finitos como primera aproximación al entorno Creo Elements/PRO, software que nos servirá como herramienta de trabajo. Tras ello, comenzaremos a explicar la metodología seguida para el diseño del eje y la rueda ferroviaria, la introducción de restricciones y sistema de cargas del conjunto y finalmente, los análisis modales e impulsivos. Teniendo en cuenta la introducción de medidas estadísticas. Mostraremos los resultados y las conclusiones, para en última instancia hacer referencia a los posibles trabajos futuros.

Cabe destacar que este proyecto se ha llevado a cabo en el marco de investigación promovido por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Carlos III de Madrid, con el fin último de poder llevar a la práctica estos ensayos y contrastarlos aquellos desarrollados mediante softwares de MEF.

Palabras clave

Eje ferroviario, rueda ferroviaria, wheelset, análisis modal, dynamic time, Creo Elements/PRO, medidas estadísticas.

Abstract

The current Project, 'Análisis de vibraciones de un wheelset con diferentes niveles de defecto' has the main goal of modeling and perform modal analysis and dynamic time over a wheelset, by means of the software Creo Elements/PRO. We are going to continue the line of research, adding new elements to the analysis, such as the study of statistical measures.

After exposing the motivation and goals of the project, we are going to explain the theoretical base that helps us to develop the project. Introducing concepts such as mechanical vibration, modal analysis and their field of application. We are going to explore the main elements of the railway rolling stock. We will analyze the rail-wheel contact, introducing briefly the concept of fatigue in materials and describe the statistical measures we are going to work with.

We are going to develop the project in the environment of a FEM program, Creo Elements/PRO, so we are going to introduce its main functions. After that, we will start explaining the methodology followed in the design of the axle and the wheel; adding the constraints and the load system to the set, and finally the modal analysis and the dynamic time.

We are going to explain the results and conclusions obtained, taking into account the statistical measures. In the end we will focus on the possible future projects, developed from this one.

This Project has only been possible thanks to the research promoted by the Mechanical Engineering Department of UC3M, working with the final objective of perform this analysis in a real wheelset; comparing the results with those reached by the FEM software.

Key words

Railway axle, railway wheel, wheelset, modal analysis, dynamic time, Creo Elements/PRO, statistical measures.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.2. OBJETIVOS	4
1.3. FASES DE DESARROLLO DEL PROYECTO	6
1.4. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.....	7
CAPÍTULO 2	9
2.1. DEFINICIÓN	11
2.2. CONCEPTOS BÁSICOS	12
2.3. FENÓMENO DE RESONANCIA MECÁNICA.....	14
2.4. PROCESS COMPENSATED RESONANCE TESTING (PCRT)	16
2.5. ANÁLISIS MODAL	19
2.5.1. INTRODUCCIÓN E HISTORIA.....	19
2.5.2. EL ANÁLISIS MODAL EN LA ACTUALIDAD	20
2.5.3. DEFINICIÓN	21
2.5.4. APLICACIONES PRÁCTICAS	22
2.5.5. EJEMPLOS DE ANÁLISIS MODAL.....	23
CAPÍTULO 3	29
3.1. INTRODUCCIÓN.....	31
3.2. BOGIE.....	32
3.2.1. FUNCIONES PRINCIPALES DEL BOGIE	33
3.2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE BOGIE.....	34
3.3. BASTIDOR O CHASIS	36
3.4. CAJA DE GRASA	36
3.4.1. CLASIFICACIÓN DE LAS CAJAS DE GRASA	37
3.5. TRANSMISIÓN	39
3.6. DISPOSITIVOS DE FRENADO	40
3.7. SISTEMA DE SUSPENSIÓN	40
3.7.1. SUSPENSIÓN PRIMARIA	41
3.7.2. SUSPENSIÓN SECUNDARIA.....	42

3.8. EJE MONTADO/CONJUNTO DE RODADURA	42
3.8.1. TIPOPOLOGÍA DEL EJE MONTADO	43
3.8.2. EJE FERROVIARIO	45
3.8.3. PROCESO DE FABRICACIÓN DE UN EJE FERROVIARIO.....	47
3.8.4. NORMATIVA DE EJES FERROVIARIOS	50
3.8.5. RUEDA FERROVIARIA	51
3.8.6. PROCESO DE FABRICACIÓN DE UNA RUEDA FERROVIARIA	53
 CAPÍTULO 4	 62
4.1. CONTACTO RUEDA - RAÍL	64
4.1.1. INTRODUCCIÓN	64
4.1.2. MODELO BÁSICO DE UN JUEGO DE RUEDAS, GRADOS DE LIBERTAD	66
4.1.3. EL CONTACTO NORMAL	67
4.1.4. EL CONTACTO HERTZIANO	67
4.2. NORMATIVA PARA CARGAS Y MATERIALES	69
4.2.1. CARGAS A APLICAR SOBRE EL SISTEMA	69
4.2.2. MATERIALES UTILIZADOS	70
4.3. MEDIDAS ESTADÍSTICAS	71
4.3.1. MEDIA ARITMÉTICA	71
4.3.2. MEDIANA.....	72
4.3.3. VARIANZA Y DESVIACIÓN TÍPICA.....	73
4.3.4. MÁXIMO Y MÍNIMO	74
4.3.5. ASIMETRÍA Y CURTOSIS	75
4.4. EL FENÓMENO DE LA FATIGA	77
4.4.1. INTRODUCCIÓN	77
4.4.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ROTURA POR FATIGA	78
4.4.3. ESTADO DEL ARTE DEL FENÓMENO DE FATIGA	79
 CAPÍTULO 5	 81
5.1. INTRODUCCIÓN.....	83
5.2. ELEMENTOS DE UN MODELO MEF.....	83
5.3. APLICACIONES PRÁCTICAS	84
5.4. ACERCAMIENTO A CREO ELEMENTS/PRO.....	85
5.5. MÓDULOS DE REPRESENTACIÓN (CAD 2D).....	85
5.5.1. CREO SKETCH	85
5.5.2. CREO LAYOUT	86
5.5.3. CREO SCHEMATICS.....	86
5.6. MÓDULOS DE DISEÑO (CAD 3D).....	87
5.6.1. CREO PARAMETRIC	87
5.6.2. CREO DIRECT	87
5.6.3. CREO OPTIONS MODELER	88
5.7. MÓDULOS DE SIMULACIÓN	88

5.7.1. CREO SIMULATE	88
5.8. MÓDULOS DE VISUALIZACIÓN	88
5.8.1. CREO VIEW MCAD	88
5.8.2. CREO VIEW ECAD	88
5.8.3. CREO VIEW MOBILE	88
5.8.4. CREO ILLUSTRATE.....	89
5.9. TIPOS DE FICHEROS SOPORTADOS POR EL SOFTWARE.....	89
 CAPÍTULO 6	 91
6.1. ANTECEDENTES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	93
6.2. DEFINICIÓN DEL EJE Y LA RUEDA FERROVIARIA.....	94
6.2.1. DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA.....	94
6.2.2. MATERIALES DE DISEÑO	94
6.2.3. SITUACIÓN DE LAS PIEZAS DE CONJUNTO	95
6.2.4. CONDICIONES DE CONTORNO	96
6.2.5. GEOMETRÍA Y LOCALIZACIÓN DE LAS GRIETAS.....	100
6.3. ANÁLISIS MODAL DEL CONJUNTO WHEELSET.....	102
6.4. DYNAMIC TIME	102
6.5. RESULTADOS PREVISTOS.....	103
6.6. SIMPLIFICACIONES CONSIDERADAS	103
 CAPÍTULO 7	 105
7.1. MODELADO DE LAS PIEZAS	107
7.2. ENSAMBLAJE.....	110
7.3. GENERACIÓN DE LAS ELIPSES DE APOYO	113
7.4. INTRODUCCIÓN DE LAS RESTRICCIONES.....	114
7.4.1. RESTRICCIONES EN LAS ELIPSES DE APOYO	114
7.4.2. RESTRICCIONES EN LAS MANGUETAS	116
7.5. DEFINICION DE LOS MATERIALES PARA RUEDA Y EJE	117
7.6. SITUACIÓN DE CARGAS	119
7.6.1. CARGAS SOBRE MANGUETAS	119
7.6.2. CARGAS GRAVITATORIAS	122
7.7. PUNTOS SOMETIDOS A ESTUDIO	122
7.8. INTRODUCCIÓN DE DEFECTOS EN EL EJE	125
7.8.1. DEFECTOS EN SECCIÓN TRANSVERSAL MEDIA.....	126
7.8.2. DEFECTOS EN SECCIÓN TRANSVERSAL EN AJUSTE INTERIOR	128



7.9. GENERACIÓN DEL MALLADO	131
7.9.1. COMPARATIVA: MALLADO POR DEFECTO Y REFINADO	131
7.9.2. MALLADO UTILIZADO	133
7.10. DEFINICIÓN DE LAS MAGNITUDES A EVALUAR	133
7.11. ANÁLISIS MODAL	134
7.11.1. GENERACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ANÁLISIS MODAL	135
7.11.2. MODOS DE VIBRACIÓN DEL ANÁLISIS MODAL	137
7.12. DYNAMIC TIME	138
7.12.1. GENERACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL DYNAMIC TIME	138
7.12.2. MÉTODO DE EXPORTACIÓN DE DATOS	141
7.13. INTRODUCCIÓN DE MEDIDAS ESTADÍSTICAS MEDIANTE MATLAB	143
 CAPÍTULO 8	 145
8.1. INTRODUCCIÓN	147
8.2. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS MODALES	147
8.3. RESULTADOS DE LOS DYNAMIC TIME	165
8.4. RESULTADOS DE LAS MEDIDAS ESTADÍSTICAS	175
 CAPÍTULO 9	 183
9.1. CONCLUSIONES	185
9.1.1. CONCLUSIONES PRINCIPALES	185
9.1.2. CONCLUSIONES TÉCNICAS	185
9.2. TRABAJOS FUTUROS	187
 CAPÍTULO 10	 189
10.1. CRITERIO	191
10.2. PRESUPUESTO GLOBAL	191
 CAPÍTULO 11	 195
11. 1. BIBLIOGRAFÍA	197
 ANEXOS	 199
 ANEXO A	 201
A.1. PLANO DEL EJE	203



A.2. PLANOS DE LA RUEDA.....	204
ANEXO B	207
B.1. TABLAS Y GRÁFICOS: DYNAMIC TIME.....	209
ANEXO C	487
C.1. TABLAS Y GRÁFICOS: PARÁMETROS ESTADÍSTICOS.....	489

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. 1. Accidente de tren en Sevilla.....	3
Ilustración 1.2. Mantenimiento de cabezas motrices de trenes AVE	5
Ilustración 2. 1. Movimiento armónico simple (m.a.s.) y correspondencia con resorte	11
Ilustración 2. 2. Representación de una vibración armónica	11
Ilustración 2. 3. Representación de una vibración periódica	13
Ilustración 2. 4. Representación de una vibración aleatoria.....	14
Ilustración 2. 5. Representación de una vibración aleatoria.....	14
Ilustración 2. 6. Fenómeno de resonancia mecánica y factor de amplificación dinámico	15
Ilustración 2. 7. Derrumbe del puente de Tacoma Narrows, acontecido en 1940.....	16
Ilustración 2. 8. Técnica de END mediante tecnología PCRT realizada sobre eje ferroviario	17
Ilustración 2. 9. Esquema característico de funcionamiento del sistema PCRT	18
Ilustración 2. 10. El software de PCRT nos muestra las piezas clasificadas en óptimas y defectuosas	18
Ilustración 2. 11. Primeros modos naturales de vibración en una placa metálica	21
Ilustración 2. 12. Estudio de vibraciones aplicado a la industria del automóvil	22
Ilustración 2. 13. Sistema vibratorio de un grado de libertad	23
Ilustración 2. 14. Descomposición de una onda	23
Ilustración 2. 15. Primeros 3 modos de vibración de una cuerda con extremos fijos	25
Ilustración 3. 1. Material rodante circulando sobre las líneas ferroviarias.....	31
Ilustración 3. 2. Comparativa de ferrocarril con ejes simples frente a bogie	32
Ilustración 3. 3. Situación del bogie en el ferrocarril	32
Ilustración 3. 4. Componentes principales del bogie	33
Ilustración 3. 5. Comparativa de bogie con un solo eje y con dos	34
Ilustración 3. 6. Bogies no articulados (a) frente a bogies articulados (b).....	34
Ilustración 3. 7. Bogie de suspensión colgante y bogie de muelle lateral rígido reforzado	35
Ilustración 3. 8. Bogie con refuerzo y bogie sin refuerzo	35
Ilustración 3. 9. Bastidor o chasis de bogie.	36
Ilustración 3. 10. Caja de grasa con rodamientos planos.....	37
Ilustración 3. 11. Caja de grasa con rodamientos de rodillos cilíndricos	38
Ilustración 3. 12. Caja de grasa con rodamientos de rodillos cónicos	38
Ilustración 3. 13. Caja de grasa con rodamientos triples de alta velocidad.....	39
Ilustración 3. 14. Sistemas de transmisión.....	39
Ilustración 3. 15. Sistemas de suspensión primaria	41
Ilustración 3. 16. Sistema de suspensión primaria y su detalle de montaje	41
Ilustración 3. 17. Situación del sistema de suspensión secundaria y su detalle de montaje.....	42
Ilustración 3. 18. Eje montado sobre bogie	42
Ilustración 3. 19. Wheelset con rodamientos externos (izqda.) e internos (dcha.).....	43
Ilustración 3. 20. Wheelset con discos sobre el eje (izqda.) y sobre la rueda (dcha.)	44
Ilustración 3. 21. Wheelset con posición asimétrica (izqda.) y simétrica (drcha.).....	44
Ilustración 3. 22. Wheelset con ruedas de perfiles cónicos de rodadura	44

Ilustración 3. 23. Contacto entre perfil de rueda y raíl: (a) un punto, (b) dos puntos y (c) una superficie.....	45
Ilustración 3. 24. Ejes ferroviarios.....	46
Ilustración 3. 25. Partes de un eje ferroviario.....	47
Ilustración 3. 26. Proceso de mecanizado de un eje ferroviario.....	48
Ilustración 3. 27. Pruebas de verificación de medida para eje ferroviario	50
Ilustración 3. 29. Rueda monobloque	52
Ilustración 3. 28. Partes de la rueda.....	52
Ilustración 3. 30. Rueda con llanta	53
Ilustración 3. 31. Rueda elástica.....	53
Ilustración 3. 32. Forjado en blanco de rueda, preforma con la presión de 50 MN (naranja) a la de 90 MN (rosa).....	54
Ilustración 3. 33. Preforma final en la prensa de 90MN y detalle de la rueda con el perfil final aproximado	55
Ilustración 3. 34. Rodillos de laminación de la máquina de conformado	55
Ilustración 3. 35. Proceso de conformado de la rueda	56
Ilustración 3. 36. Proceso de deformación del velo	57
Ilustración 3. 37. Proceso control con máquina láser	58
Ilustración 4. 1. Vía situada sobre el balasto, en el cual se encuentran embebidas las traviesas	64
Ilustración 4. 2. Sección transversal de una vía y los elementos que la componen, entre ellos el balasto	65
Ilustración 4. 3. Áridos del balasto, obtenidos mediante la trituración de rocas de cantería	65
Ilustración 4. 4. Juego de ruedas situado sobre la vía ferroviaria desplazándose a velocidad V_x	66
Ilustración 4. 5. Contacto rueda-raíl.....	66
Ilustración 4. 6. Caso general del contacto Hertziano	67
Ilustración 4. 7. SR centrado en O con ejes XYZ y coeficientes $A_{1,2}$ y $B_{1,2}$	68
Ilustración 4. 8. Propiedades estructurales del material ER7	70
Ilustración 4. 9. Propiedades estructurales del material EAN1.....	71
Ilustración 4. 10. Polígono de interpolación de frecuencias acumuladas.....	73
Ilustración 4. 11. Función $y = f(x)$	75
Ilustración 4. 12. D. Asimétrica: a) hacia drcha., + y b) hacia izqda., - b) D. Simétrica	75
Ilustración 4. 13. Tipos de distribuciones según g_2	77
Ilustración 4. 14. Eje con rotura por fatiga.....	77
Ilustración 4. 15. Zonas de avance de la fatiga	78
Ilustración 4. 16. Accidente ocurrido en 2009 en Viareggio, norte de Italia	80
Ilustración 5. 1. Esbozo en entorno Creo Sketch	86
Ilustración 5. 2. Representación 2D acotada en entorno Creo Layout	86
Ilustración 5. 3. Modelo 3D generado en entorno Creo Direct	87
Ilustración 5. 4. Modelo 3D, trabajando en el entorno Creo Illustrate.....	89

Ilustración 6. 1. Cabezas motrices de trenes Ave en operaciones de mantenimiento	93
Ilustración 6. 2. Representación del eje ferroviario en vista de alzado	94
Ilustración 6. 3. Representación del eje ferroviario en vistas de alzado y sección	94
Ilustración 6. 4. Situación de las piezas de conjunto, eje y ruedas	95
Ilustración 6. 5. Conjunto con restricciones en elipses de apoyo, situadas sobre cara externa de las ruedas	96
Ilustración 6. 6. Conjunto modelado con restricciones en elipses de apoyo y carga sobre las manguetas.....	97
Ilustración 6. 7. Error al ejecutar el análisis modal con el sistema insuficientemente restringido	97
Ilustración 6. 8. 1ª solución, sistema de amortiguamiento con resorte fijo en el extremo de manguetas.....	98
Ilustración 6. 9. Dimensiones del amortiguador axial de la Tabla 6.1.	99
Ilustración 6. 10. Sistema de amortiguación primaria implementado en Creo Elements/PRO	100
Ilustración 6. 11. Localización del defecto central	101
Ilustración 6. 12. Localización del defecto lateral	101
Ilustración 7. 1. Plano de trabajo	107
Ilustración 7. 2. Esbozo 2D del eje	107
Ilustración 7. 3. Cotas del esbozo 2D del eje.....	108
Ilustración 7. 4. Diseño 3D inicial del eje.....	108
Ilustración 7. 5. Introducción de redondeos en el eje	108
Ilustración 7. 6. Diseño final del eje	109
Ilustración 7. 7. Esbozo 2D de la rueda	109
Ilustración 7. 8. Diseño final de la rueda.....	110
Ilustración 7. 9. Generación de contactos entre piezas.....	110
Ilustración 7. 10. Selección eje + rueda para conectarlas	111
Ilustración 7. 11. Superficie de contacto entre piezas	111
Ilustración 7. 12. Mensaje de error por falta de restricciones.....	111
Ilustración 7. 13. Editar contactos entre piezas	112
Ilustración 7. 14. Tipo de contacto 'soldado'	112
Ilustración 7. 15. Accedemos a Surface Region y seleccionamos esbozo	113
Ilustración 7. 16. Introducimos las elipses de apoyo	113
Ilustración 7. 17. Situación de las elipses de apoyo	114
Ilustración 7. 18. Introducción de restricciones en las elipses.....	114
Ilustración 7. 19. Simulamos un empotramiento en las elipses	115
Ilustración 7. 20. Observamos las elipses de apoyo con las restricciones	115
Ilustración 7. 21. Introducción de los resortes.....	116
Ilustración 7. 22. Características de los resortes.....	116
Ilustración 7. 23. Resortes definidos con empotramientos en los extremos.....	117
Ilustración 7. 24. Introducción de materiales de eje y rueda	117
Ilustración 7. 25. Características de material del eje	118
Ilustración 7. 26. Asignación del material EAN1 al eje.....	118
Ilustración 7. 27. Definición de esbozo	119

Ilustración 7. 28. Cadena de líneas.....	120
Ilustración 7. 29. Superficie media externa de las manguetas	120
Ilustración 7. 30. Force/ Moment	120
Ilustración 7. 31. Introducción de la carga sobre las manguetas.....	121
Ilustración 7. 32. Observamos el sistema de cargas sobre las manguetas	121
Ilustración 7. 33. Introducción de la fuerza g.....	122
Ilustración 7. 34. Localización de P1 y P2.....	123
Ilustración 7. 35. Localización de P3 y P4.....	123
Ilustración 7. 36. Localización de P5 y P6.....	123
Ilustración 7. 37. Visión global de los puntos característicos de recogida de datos.....	124
Ilustración 7. 38. Definición de un punto.....	124
Ilustración 7. 39. Eje con fallo por fatiga producido en la sección media.....	125
Ilustración 7. 40. Eje con fallo por fatiga en la sección de ajuste interior	125
Ilustración 7. 41. Selección de rectángulo para introducir la grieta	126
Ilustración 7. 42. Dimensiones requeridas de la grieta.....	126
Ilustración 7. 43. Extrusión de la grieta.....	127
Ilustración 7. 44. Observamos la grieta introducida	127
Ilustración 7. 45. Fallo en la sección central del eje.....	128
Ilustración 7. 46. Sección en la que introduciremos la grieta lateral	128
Ilustración 7. 47. Dimensiones de la grieta lateral.....	129
Ilustración 7. 48. Extrusión de la grieta.....	129
Ilustración 7. 49. Observamos la grieta lateral y su situación en el eje	130
Ilustración 7. 50. Fallo en la sección lateral de eje real	130
Ilustración 7. 51. Accedemos a la opción AutoGEM	131
Ilustración 7. 52. Características del mallado estándar	132
Ilustración 7. 53. Tamaño máximo de elemento	132
Ilustración 7. 54. Características del mallado refinado.....	133
Ilustración 7. 55. Introducción de la magnitud: Tensión (kPa)	134
Ilustración 7. 56. Introducción de la magnitud: Desplazamiento (mm) y Aceleración (mm/s ²).....	134
Ilustración 7. 57. Nuevo análisis modal.....	135
Ilustración 7. 58. Propiedades: Modos	135
Ilustración 7. 59. Propiedades: Plot & Calculate	136
Ilustración 7. 60. Propiedades: Convergencia.....	136
Ilustración 7. 61. Ejecutar análisis	136
Ilustración 7. 62. Revisión de los resultados del análisis.....	137
Ilustración 7. 63. Seleccionamos modo requerido.....	137
Ilustración 7. 64. Representación gráfica de un modo de vibración.....	138
Ilustración 7. 65. Nuevo dynamic time	138
Ilustración 7. 66. Introducimos la función impulsiva	139
Ilustración 7. 67. Definición de la función tipo seno, con las características requeridas	139
Ilustración 7. 68. Gráfica de la función seno introducida	140
Ilustración 7. 69. Coeficiente de amortiguamiento	140
Ilustración 7. 70. Dynamic time ejecutado.....	141
Ilustración 7. 71. Acceso a los resultados de los dynamic time	141

Ilustración 7. 72. Gráfica obtenida en uno de los ensayos impulsivos	142
Ilustración 7. 73. Exportar datos a Excel	142
Ilustración 8. 1. Modo 1	147
Ilustración 8. 2. Modo 2	148
Ilustración 8. 3. Modo 3	149
Ilustración 8. 4. Modo 4	150
Ilustración 8. 5. Modo 5	151
Ilustración 8. 6. Modo 6	152
Ilustración 8. 7. Modo 7	153
Ilustración 8. 8. Modo 8	154
Ilustración 8. 9. Modo 9	155
Ilustración 8. 10. Modo 10	156
Ilustración 8. 11. Frecuencias para los Modos del 3 al 6, Grieta Central.....	161
Ilustración 8. 12. Frecuencias para los Modos del 7 al 10, Grieta Central.....	162
Ilustración 8. 13. Frecuencias para los Modos del 3 al 6, Grieta Lateral.....	163
Ilustración 8. 14. Frecuencias para los Modos del 7 al 10, Grieta Lateral.....	164
Ilustración 8. 15. P6 - Defecto Central - Media Aritmética: Tensión (kPa).....	165
Ilustración 8. 16. P6 - Defecto Central - Mediana: Tensión (kPa)	166
Ilustración 8. 17. P6 - Defecto Central - Desviación Típica: Tensión (kPa).....	167
Ilustración 8. 18. P6 - Defecto Central - Máximo: Tensión (kPa)	168
Ilustración 8. 19. P6 - Defecto Central - Media Aritmética: Desplazamiento (mm).....	169
Ilustración 8. 20. P6 - Defecto Central - Máximo: Aceleración (mm/s ²)	170
Ilustración 8. 21. P3 - Defecto Lateral - Máximo: Desplazamiento (mm)	171
Ilustración 8. 22. P2 - Defecto Central - Mediana: Tensión (kPa)	172
Ilustración 8. 23. P4 - Defecto Lateral - Sesgo: Desplazamiento (mm)	173
Ilustración 8. 24. P1 - Defecto Central – Coef. Kurtosis: Tensión (kPa)	174
Ilustración 8. 25. Punto 6 - DL - Media - ΔT	175
Ilustración 8. 26. Punto 6 - DL - Mediana - ΔT	176
Ilustración 8. 27. Punto 6 - DL - Varianza - ΔT	177
Ilustración 8. 28. Punto 6 - DL - D. típica - ΔT	177
Ilustración 8. 29. Tabla 8. 26. . Punto 6 - DL - Mínimo - ΔT	178
Ilustración 8. 30. Punto 6 - DL - Máximo - ΔT	179
Ilustración 8. 31. Punto 6 - DL - C. Kurtosis – ΔT	179
Ilustración 8. 32. Punto 6 - DL - Sesgo - ΔT	180

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1. Ficha UIC 812-3	59
Tabla 4. 1. Coeficientes de Hertz (A/B <1)	69
Tabla 6. 1. Denominación y dimensiones de los diferentes tipos de amortiguadores ofertados	99
Tabla 6. 2. Denominación y dimensiones de los diferentes tipos de amortiguadores ofertados	99
Tabla 6. 3. Niveles de defecto en sección transversal media del eje	101
Tabla 6. 4. Niveles de defecto en sección transversal, en ajuste interior medio del eje	102
Tabla 7. 1. Ejemplo de organización de los datos de los ensayos dt	143
Tabla 8. 1. Eje sin defectos	157
Tabla 8. 2. Eje GC - N1	157
Tabla 8. 3. Eje GC - N2	157
Tabla 8. 4. Eje GC - N3	158
Tabla 8. 5. Eje GC - N4	158
Tabla 8. 6. Eje GC - N5	158
Tabla 8. 7. Eje GL - N1.....	159
Tabla 8. 8. Eje GL - N2.....	159
Tabla 8. 9. Eje GL - N3.....	159
Tabla 8. 10. Eje GL - N4.....	160
Tabla 8. 11. Eje GL - N5.....	160
Tabla 8. 12. Análisis modal del wheelset con defecto central	160
Tabla 8. 13. Análisis modal del wheelset con defecto lateral	163
Tabla 8. 14. P6 - Defecto Central - Media Aritmética: Tensión (kPa).....	165
Tabla 8. 15. P6 - Defecto Central - Mediana: Tensión (kPa).....	166
Tabla 8. 16. P6 - Defecto Central - Desviación Típica: Tensión (kPa)	167
Tabla 8. 17. P6 - Defecto Central - Máximo: Tensión (kPa).....	167
Tabla 8. 18. P6 - Defecto Central - Media Aritmética: Desplazamiento (mm)	168
Tabla 8. 19. P6 - Defecto Central - Máximo: Aceleración (mm/s ²)	169
Tabla 8. 20. P3 - Defecto Lateral - Máximo: Desplazamiento (mm)	170
Tabla 8. 21. P2 - Defecto Central - Mediana: Tensión (kPa).....	171
Tabla 8. 22. P4 - Defecto Lateral - Sesgo: Desplazamiento (mm)	172
Tabla 8. 23. P1 - Defecto Central - Coef. Kurtosis: Tensión (kPa).....	173
Tabla 8. 24. Punto 6 - DL - Media - ΔT	175
Tabla 8. 25. Punto 6 - DL - Mediana - ΔT	176
Tabla 8. 26. Punto 6 - DL - Varianza - ΔT	176



Tabla 8. 27. Punto 6 - DL - D. típica – ΔT	177
Tabla 8. 28. . Punto 6 - DL - Mínimo – ΔT	178
Tabla 8. 29. Tabla 8. 26. Punto 6 - DL - Máximo – ΔT	178
Tabla 8. 30. Punto 6 - DL - C. Kurtosis – ΔT	179
Tabla 8. 31. Punto 6 - DL - Sesgo – ΔT	180
Tabla 10. 1. Costes de Personal.....	192
Tabla 10. 2. Costes de Equipos	193
Tabla 10. 3. Otros costes directos	193
Tabla 10. 4. Resumen del presupuesto	194

CAPÍTULO 1

Motivación y objetivos del proyecto



1.1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los medios de comunicación son una herramienta esencial en el modo de entender nuestra vida cotidiana. Uno de los medios de comunicación más establecidos y difundidos a lo largo de todo el mundo es el tren. Ya sea utilizado bien para el transporte de pasajeros como para el de mercancías, el transporte ferroviario supone un sistema fundamental, clave para el desarrollo de las comunicaciones de cualquier país y en un mundo cada vez más global y con menos fronteras, dentro de un marco internacional. Por ello el tren debe responder a las demandas que exige la sociedad y situado en un ámbito cada vez más competitivo como es el sector del transporte, alcanzar los estándares de servicio, seguridad (Ilustración 1.1) y eficiencia requeridos, que deben ser mejorados de forma continuada a medida que avanza la tecnología y a la vez asumir unos costes de servicio asequibles de cara al usuario final.

El tren está compuesto de una gran cantidad de elementos mecánicos, entre ellos se encuentra el conjunto denominado wheelset o juego de ruedas que consta del eje y las ruedas ferroviarias. El wheelset es un elemento clave para la seguridad del tren, debido a que un fallo en uno de sus componentes puede generar accidentes con descarrilamiento, que si bien suelen ser poco frecuentes, conllevan graves consecuencias para la integridad física de los pasajeros y posibles daños para los bienes materiales y del medioambiente, como puede ser el vertido de productos químicos en los trenes de mercancías.



Ilustración 1. 1. Accidente de tren en Sevilla.

El presente proyecto se focaliza en el wheelset cuyas funciones principales son las de soportar el peso de los vagones y las cabezas motrices, transmitir la potencia de las mismas guiando al vehículo por los raíles, permitiendo circular en línea recta y en curva sobre el trazado, absorber parte de las vibraciones generadas por el tren y el propio trazado y soportar los esfuerzos realizados en las operaciones de frenado. Todo ello funcionando con las máximas exigencias de seguridad al operar en las condiciones de servicio puesto que es un elemento fundamental y crítico para la misma como hemos enunciado anteriormente.

Derivada de la exigencia en seguridad ferroviaria que requiere el wheelset, se enmarca la detección de fallos en el eje y la rueda que se lleva a cabo por medio de métodos de mantenimiento preventivo. Estos tienen como base el estudio de los defectos generados en ocasiones previas en los ejes y las ruedas ferroviarias así como en la evolución de pequeñas grietas o fisuras generadas en estas piezas. Con este mantenimiento buscamos aumentar la vida útil de las piezas que forman el wheelset e incrementar las condiciones de seguridad con las que opera el tren y por lo tanto las de los pasajeros o bienes materiales transportados.

Hemos de decir que estas operaciones de mantenimiento llevan un coste asociado, el de la rueda ferroviaria supone entre el 30% y el 50% del coste total de mantenimiento mientras que el del eje es de un porcentaje aproximadamente similar del total (Ilustración 1.2). Siempre teniendo en cuenta que los costes derivados de un accidente ferroviario son mucho más elevados que el coste global de mantenimiento.

Por tanto una correcta detección preventiva del fallo en los componentes mecánicos del wheelset proporcionará una eficiente utilización de los recursos económicos para las empresas ferroviarias, repercutiendo en un incremento de la seguridad hacia un nivel óptimo; lo cual mejorará la competitividad del tren frente a otros medios de transporte y la confianza del usuario final.

En este proyecto nos centraremos la influencia y variación de ciertas magnitudes físicas analizadas en el wheelset al existir y propagarse pequeñas fisuras en diferentes puntos de nuestro eje ferroviario. Seguiremos esta línea de investigación para detectar e identificar defectos, de forma que nos ayude a crear posteriormente metodologías de mantenimiento preventivo. Lo haremos dentro del marco de investigación llevado a cabo por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Carlos III de Madrid, en el que por medio de Análisis Modales simulados con las características requeridas en programas informáticos basados en Métodos de Elementos Finitos (FEM), obtendremos una serie de resultados y conclusiones que nos ayuden a comprender y dirigir de forma correcta las diferentes líneas de investigación.

1.2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es el análisis vibratorio de un wheelset ferroviario con diferentes defectos en el eje. Concretamente, se realizarán análisis modales y ensayos de dynamic time, tanto sobre un modelo de wheelset idóneo como sobre modelos virtuales de wheelset con defectos en diferentes zonas del eje y a varios niveles de profundidad de las grietas.

Para los análisis modales se realizarán las simulaciones para conseguir un determinado número de modos de vibración. Posteriormente y de forma complementaria a los análisis modales, realizaremos ensayos 'dynamic time', que miden la respuesta de un sistema a una carga no periódica o impulsiva, dependiente del tiempo. En estos análisis el programa calcula desplazamientos, velocidades, aceleraciones y tensiones en el modelo en diferentes momentos, en respuesta a una carga variable en el tiempo. Observaremos las diversas magnitudes, recogidas a lo largo de puntos significativos de eje y rueda. Los resultados obtenidos serán procesados para ver los parámetros estadísticos de las señales de las vibraciones y de las magnitudes anteriormente mencionadas.



Ilustración 1.2. Mantenimiento de cabezas motrices de trenes AVE

Para poder alcanzar este objetivo principal hemos de seguir de manera rigurosa una serie de pasos o sub-objetivos, que se detallan a continuación:

- ✓ Generar un modelo virtual de eje y rueda ferroviaria (wheelset), de manera acorde a lo representado en los planos. Efectuar el montaje del wheelset y asignar el sistema de cargas y restricciones correspondientes. Definir los materiales asignados a cada pieza y establecer los contactos entre rueda y eje.
- ✓ Definir el mallado con el que vamos a trabajar y otros parámetros propios del software.
- ✓ Introducir los diferentes defectos en aquellas secciones que se considere oportuno y proceder a la simulación de los análisis modales para el wheelset en condiciones idóneas y con la diferente defectología. Una vez desarrollados estos análisis, pasaremos a realizar los ensayos impulsivos 'dynamic time', mediante los que recogeremos los valores de las diversas magnitudes analizadas, en puntos característicos del wheelset.
- ✓ Analizar los resultados obtenidos para observar si hemos cumplido el objetivo inicial y extraer las conclusiones finales de nuestro estudio.

1.3. FASES DE DESARROLLO DEL PROYECTO

Para la realización de este proyecto hemos de establecer y superar todas las fases del desarrollo que creamos necesarias para la alcanzar los objetivos marcados previamente y que nos sirvan de guía en la ejecución del mismo. Tendremos en cuenta que a medida que llevamos a cabo las tareas del proyecto van a ir surgiendo modificaciones con respecto a lo preestablecido. Por ello las fases de desarrollo han de ser elementos flexibles que puedan ser modificadas en orden y contenido si así lo exige el desempeño de las tareas y el nivel de calidad de los resultados que queremos obtener. Serán las siguientes:

- *Fase 1: Establecer y definir objetivos.*

Presentaremos la motivación y los objetivos que esperamos alcanzar. Debemos tener unas nociones previas de las materias y los elementos a estudiar para así poder plantear unos objetivos realistas.

- *Fase 2: Estudio de la normativa y la documentación.*

Las diferentes tareas pueden requerir de una normativa o teoría en la que basar de forma lógica los cálculos a realizar en el proyecto. Del mismo modo el manejo del programa informático Creo Elements/PRO necesita de un conocimiento de su entorno y sus herramientas de trabajo.

- *Fase 3: Metodología a seguir.*

Para poder realizar todas las tareas de una forma ordenada y lógica y así optimizar el tiempo empleado en el trabajo, estableceremos unos procedimientos que reflejaremos posteriormente en el proyecto.

- *Fase 4: Modelado y simulación Creo Elements/PRO*

Etapas en la que diseñaremos el wheelset e introduciremos todas sus características y restricciones para proceder a la realización de los ensayos de simulación mediante métodos de elementos finitos (FEM).

- *Fase 5: Recopilación y organización de los resultados.*

Exportaremos los datos a Microsoft Excel para procesarlos y organizarlos mediante tablas y gráficas, de forma que sean representativos para los fines que estamos buscando. Trataremos del mismo modo los datos exportados a Excel mediante programación MATLAB para obtener resultados de medidas estadísticas que serán de nuevo reflejados en Excel.

- *Fase 6: Establecer las conclusiones finales*

Analizaremos los resultados obtenidos, lo que nos permitirá enunciar una serie de conclusiones finales, así como de propuestas para los posibles trabajos futuros que de este proyecto puedan derivarse.

- Fase 7: Elaboración de la Memoria

Elaboraremos la Memoria del proyecto, representando de forma fidedigna la línea de trabajo que hemos ido siguiendo a lo largo de cada una de las fases. El documento estará bien estructurado y documentado, ayudándonos de planos, gráficas y tablas cuando sea necesario.

1.4. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

El presente proyecto está estructurado en un total de 13 capítulos, a lo largo de los cuales se van desarrollando los contenidos incluidos en el mismo y que resumiremos a continuación de forma esquemática:

- Capítulo 1. Motivación y objetivos del proyecto: En este capítulo se explica de forma breve los motivos que llevan a la realización del proyecto, los objetivos que buscamos alcanzar y las fases del desarrollo necesarias para llegar a estas metas. También se incluye esta descripción de la estructura del documento.
- Capítulo 2. Vibraciones mecánicas: Definiremos una serie de conceptos relativos a las vibraciones mecánicas y a los análisis modales que son básicos para el acercamiento y comprensión de los ensayos que vamos a realizar posteriormente.
- Capítulo 3. Material Rodante Ferroviario: Este proyecto se centra en el estudio del wheelset, formado por el eje y la rueda ferroviaria, pero además de conocer estos dos elementos requerimos de unos conocimientos de los componentes mecánicos principales de un tren. Serán explicados a lo largo de este capítulo.
- Capítulo 4. Complementos Teóricos: Vamos a introducir el soporte de conocimientos de teoría, de cálculos y normativa necesarios en la aplicación práctica de diversas tareas en nuestro proyecto.
- Capítulo 5. Software: Creo Elements/PRO: Estudiaremos el funcionamiento de las herramientas informáticas de FEM y la metodología de uso asociada. Nos familiarizaremos con el funcionamiento del programa informático Creo Elements/PRO y las diferentes funciones que vamos a utilizar.
- Capítulo 6. Metodología: En este apartado plantearemos el problema y los métodos que vamos seguir para alcanzar los objetivos; entendiendo por ello las herramientas dentro del programa Creo Elements/PRO con las que vamos a realizar cada una de las tareas, desde el modelado de las piezas hasta la realización de las simulaciones analíticas de ensayos modales y dynamic time.
- Capítulo 7. Desarrollo del proyecto: Procederemos a realizar desde el modelado y ensamblado de las piezas hasta los análisis de las simulaciones, pasando por cada uno de los pasos expresados en el capítulo anterior. Hemos de tener en cuenta que debido a necesidades del programa o a modificaciones que podamos irnos encontrando a medida que avanzamos, el planteamiento no va a ser exactamente igual a lo aplicado en la realidad.

- Capítulo 8. Resultados Obtenidos: Expondremos todos los resultados que hemos obtenido tras el desarrollo del proyecto, incluyendo todo tipo de gráficas y tablas para representar los datos numéricos recogidos.
- Capítulo 9. Conclusiones y Trabajos futuros: A partir de los resultados obtenidos, podremos extraer una serie de conclusiones finales de nuestro estudio y compararlas con El Objetivo propuesto para ver si ha sido alcanzado y es satisfactorio. Expondremos las posibles líneas de investigación a seguir de cara a futuros estudios, que tengan como base este proyecto.
- Capítulo 10. Presupuesto: En el presupuesto reflejaremos los costes de los recursos humanos y materiales y el tiempo empleado en el desarrollo del estudio.
- Capítulo 11. Bibliografía: Enunciaremos las fuentes de documentación que nos han servido como base y guía para la realización del presente proyecto.



CAPÍTULO 2

Vibraciones Mecánicas



2.1. DEFINICIÓN

Los elementos que componen un sistema mecánico operando bajo unas determinadas condiciones de servicio van a estar generalmente sometidos a vibraciones mecánicas, que pueden ser características del propio funcionamiento de la máquina o sistema. Definiremos como vibración mecánica al movimiento oscilatorio de un punto material o de un cuerpo con respecto a su posición de equilibrio, debido a fuerzas a las que se encuentra sometido. Pueden ser fuerzas gravitacionales, como el caso de un péndulo o cargas elásticas para el caso de una masa unida a un resorte (Ilustración 2.1).

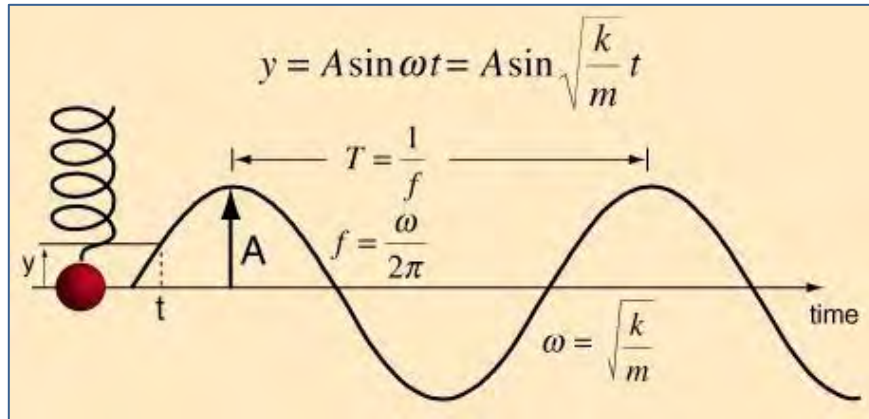


Ilustración 2. 1. Movimiento armónico simple (m.a.s.) y correspondencia con resorte

De forma general estas vibraciones llevan consigo efectos no deseados sobre nuestro sistema, en forma de ruido, erosión de material, pérdida de energía, aumento de los esfuerzos producidos y en situaciones extremas la rotura. Por ello trataremos de evitarlas o minimizar sus efectos en la medida de lo posible. En algunas ocasiones las vibraciones generan resultados deseados en el desarrollo de un proceso industrial o tecnológico, así es el caso de procesos de acabado superficial como el pulido o el centrifugado para la separación de materiales.

En la siguiente imagen (Ilustración 2.2), observamos la representación de una vibración armónica.

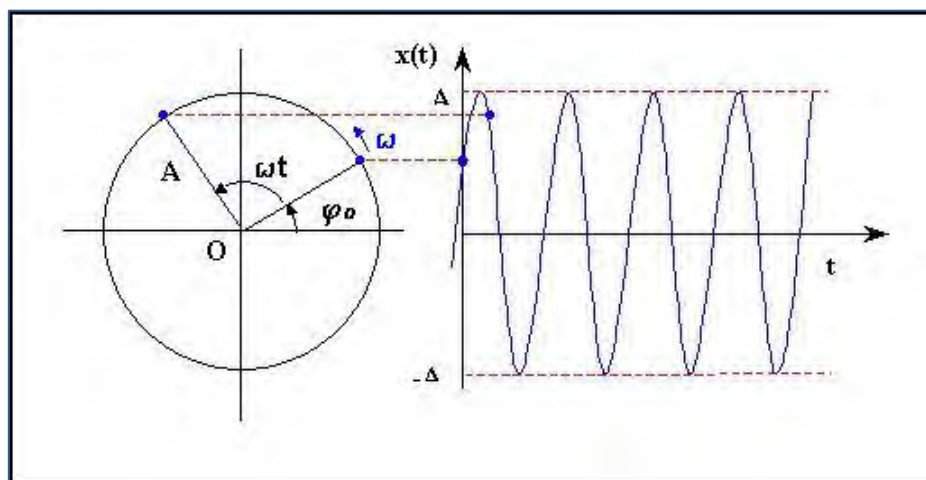


Ilustración 2. 2. Representación de una vibración armónica

Dentro del movimiento que conlleva una vibración podemos distinguir 3 fenómenos energéticos:

- Almacenamiento de energía cinética en las masas e inercia.
- Almacenamiento de energía potencial en los elementos elásticos.
- Pérdida gradual de energía en los elementos disipativos.

En la actualidad, para llevar a cabo un buen desempeño y correcto funcionamiento de los sistemas mecánicos, así como para conocer su estado en el momento de análisis y de forma predictiva en el futuro, haremos uso de normas, procedimientos y metodologías de mantenimiento, dentro de la cuales se tendrá en cuenta principalmente el mantenimiento predictivo.

El análisis de vibraciones es una de las metodologías más extendidas para el diseño, mantenimiento y solución de problemas en las máquinas y equipos industriales. La tendencia en el futuro es que este tipo de análisis siga en aumento debido a que los materiales utilizados cada vez son más ligeros, por lo que los elementos mecánicos estarán sometidos a mayores cargas por unidad de volumen y superficie, siendo las vibraciones un factor crítico de estudio.

2.2. CONCEPTOS BÁSICOS

Vamos a introducir los siguientes términos relativos a las vibraciones mecánicas y necesarios para su comprensión:

- Amplitud de Onda: Es el valor máximo que puede alcanzar una partícula en vibración con respecto la posición de equilibrio.
- Periodo (T): Es el intervalo de tiempo que transcurre entre dos estados idénticos y consecutivos de una perturbación en un punto.
- Longitud de onda (λ): Es la distancia entre dos estados y idénticos y consecutivos de una perturbación en un punto.
- Frecuencia (f): Es la inversa al periodo, define el número de veces que se repite una posición en cada segundo. Su unidad es el hercio [Hz].
- Frecuencia Natural o Frecuencia Propia (ω_n): En sistemas de un grado de libertad, es la frecuencia del movimiento armónico que resulta al aplicar un desplazamiento o una velocidad inicial a un punto que se encuentra en equilibrio y se deja vibrar libremente sin ningún tipo de amortiguador. En sistemas con más de un grado de libertad, cada modo natural de vibración tendrá una frecuencia natural asociada, la cual será la del movimiento armónico resultante.
- Frecuencia de Excitación (Ω): Se define como la frecuencia asociada a una perturbación que trabaja desde el exterior, actuando sobre el sistema mecánico y que varía armónicamente. Siendo ω_n la frecuencia natural del sistema y Ω la de la excitación, la relación entre ambas frecuencias se representa mediante β , es decir $\beta = \Omega / \omega_n$. En el caso particular donde ambas frecuencias coinciden, es decir $\beta=1$, se considera que el sistema se encuentra en resonancia. Fenómeno que explicaremos posteriormente de manera más amplia.

- Movimiento Ondulatorio: Es el movimiento que describe la onda. Una onda es una transmisión de energía o perturbaciones, que se dividen en dos tipos: ondas estacionarias y ondas transitorias. También pueden clasificarse según las dimensiones en las que se desplacen: ondas unidimensionales, ondas bidimensionales y ondas tridimensionales.
- Velocidad de propagación: Es la velocidad a la que se desplaza una onda determinada. El valor depende del medio por el que se produzca la propagación.
- Vibraciones libres: Son aquellas que tienen lugar en ausencia de fuerzas externas.
- Vibraciones forzadas: Las que tienen lugar debido a la presencia de fuerzas externas que varían con el tiempo.
- Coefficiente de amortiguamiento (ξ): Es el cociente entre el amortiguamiento del sistema y el amortiguamiento crítico, siendo el amortiguamiento crítico aquél en el que el sistema deja de ser oscilante.

$$\xi = \frac{c}{2\sqrt{mk}} = \frac{c}{2m\omega_n}$$

- Factor Dinámico de Amplificación (F.D.A.): Es el número de veces que la amplitud de la oscilación dinámica supera a la estática.

$$\frac{D}{\delta_p} = \frac{1}{\sqrt{(1 - (\Omega/\omega_n)^2)^2 + (2\xi \cdot \Omega/\omega_n)^2}} = \frac{1}{\sqrt{(1 - \beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2}}$$

- Vibración Armónica: Se trata de la forma más simple de oscilación. Es representada por una onda sinusoidal y por lo general, se genera en sistemas lineales debido a la presencia de algún problema potencial. Se estudia a través de un vector rotatorio con velocidad angular constante.
- Vibración periódica: Se define como el movimiento que se repite de igual forma en intervalos de tiempo. Un ejemplo claro de este tipo de vibración se presenta cuando existen problemas de funcionamiento en una transmisión dentada (Ilustración 2.3).

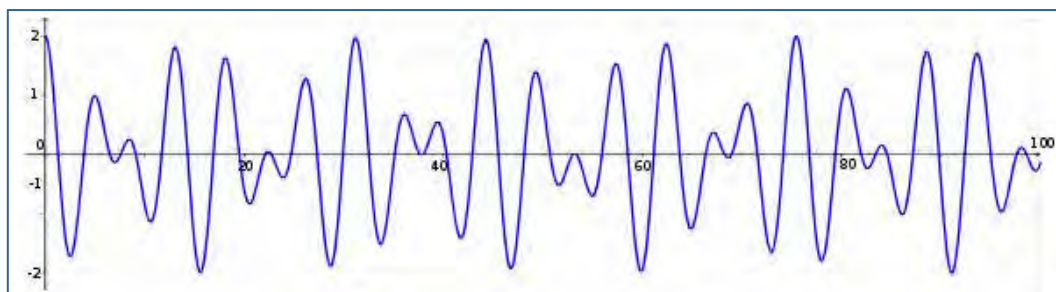


Ilustración 2. 3. Representación de una vibración periódica

- Vibración Aleatoria: Ocurre de forma errática y tiene contenidos de frecuencias en toda la banda de frecuencias analizada. Esto quiere decir que las vibraciones aleatorias producirán un espectro continuo, es decir, el espectro estará constituido por infinitas

vibraciones armónicas, en la cual cada una estará caracterizada por una amplitud, frecuencia y fase respectivamente (Ilustración 2.4).

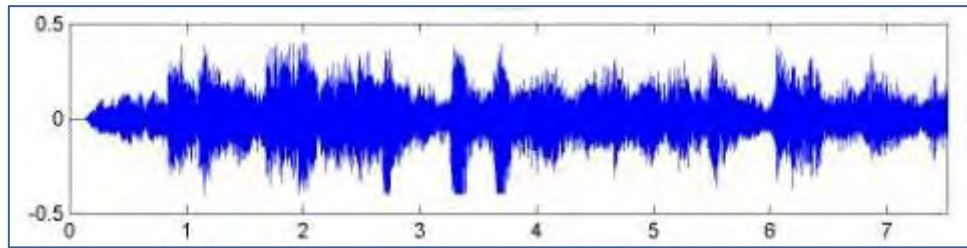


Ilustración 2. 4. Representación de una vibración aleatoria

Según las definiciones anteriormente expuestas podemos clasificar las vibraciones mecánicas en función de su naturaleza de excitación, en vibraciones libres y vibraciones forzadas. Éstas pueden ser armónicas, periódicas o aleatorias.

2.3. FENÓMENO DE RESONANCIA MECÁNICA

A la hora de realizar estudios de vibraciones mecánicas hemos de tener en cuenta el fenómeno de resonancia (Ilustración 2.5), siendo un factor crucial a la hora de diseñar y mantener en correcto funcionamiento todo tipo de estructuras y máquinas, dado que si llega a producirse puede acarrear graves consecuencias para la integridad de la estructura o el elemento mecánico con el que estemos tratando, así como problemas de contaminación por ruido. Por ello es un concepto de básico conocimiento para los ingenieros mecánicos.



Ilustración 2. 5. Representación de una vibración aleatoria

Definiremos como resonancia mecánica al fenómeno que se produce cuando un sistema capaz de vibrar es sometido a una carga periódica, cuya frecuencia de excitación Ω coincide con la frecuencia de vibración natural del sistema ω_n , en el cual la aplicación repetida de una carga relativamente pequeña hace que la amplitud de oscilación se vuelva muy grande, pudiendo llegar incluso al colapso del sistema (Ilustración 2.6).

En la siguiente figura podemos observar como varía el factor de amplificación dinámico en función de la relación de frecuencias $\beta = \Omega / \omega_n$ y del coeficiente de amortiguamiento ξ .

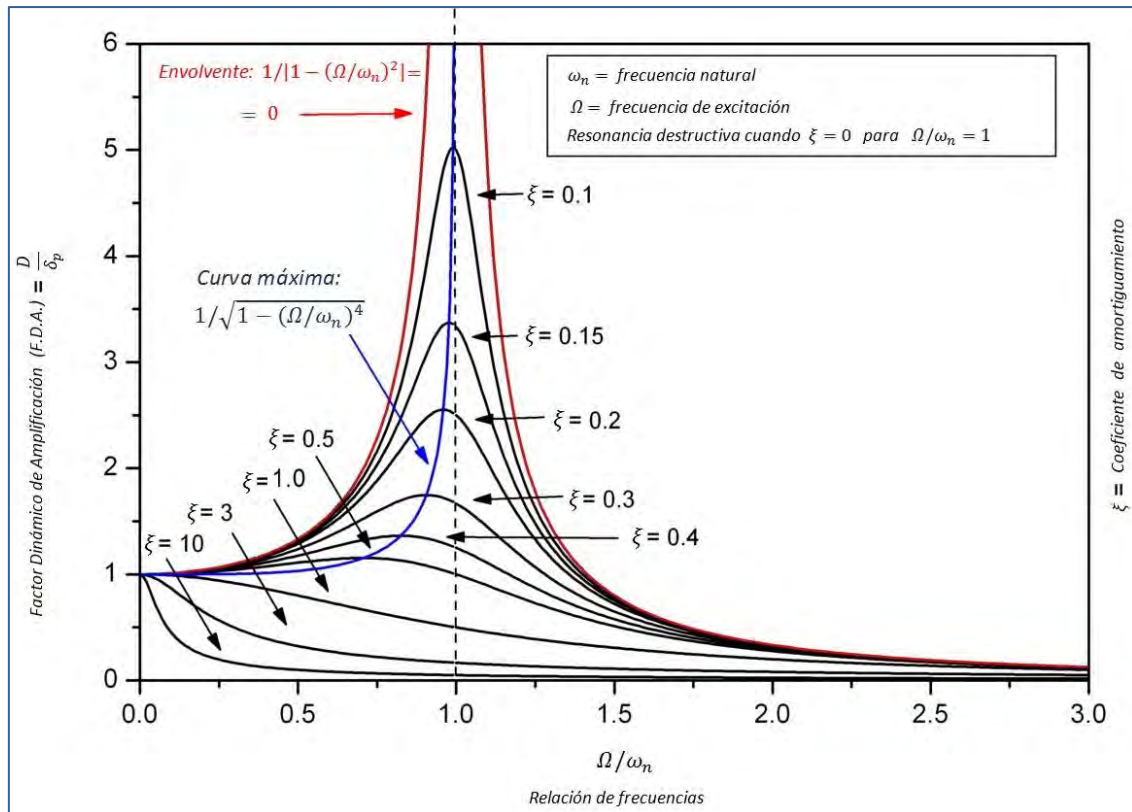


Ilustración 2.6. Fenómeno de resonancia mecánica y factor de amplificación dinámico

En la actualidad se puede decir que los problemas estáticos, en los que los sistemas elásticos están sometidos a cargas estáticas (fuerzas constantes que adquieren de una manera progresiva su valor final) están completamente estudiados y comprendidos, no existiendo ningún tipo de incertidumbre acerca de los resultados a obtener en función de la carga aplicada. Por tanto, el fallo en una estructura de estas características no se debe producir por errores de diseño y concepto, sino debido a defectos constructivos.

En cambio, al tratar con sistemas con cargas dinámicas aplicadas, nos encontramos con diversas incertidumbres puesto que no se conoce con total certeza su comportamiento, generándose gran cantidad de casos prácticos de vibraciones causados por este tipo de cargas. Dentro de las diferentes áreas de la ingeniería existen múltiples líneas de investigación para hacer frente a esta problemática, tratar de entenderla mejor y así plantear soluciones para cada una de las situaciones. Como venimos enunciando los efectos vibratorios son muy perjudiciales en los estados de resonancia, o en sus proximidades. Por ello estos fenómenos son de necesario conocimiento para los ingenieros y para el campo en el que se enmarca el presente proyecto.

Como ejemplo real en el que un sistema se ha visto afectado hasta el punto de llegar a su colapso debido a la resonancia mecánica, destaca el derrumbe del puente de Tacoma Narrows localizado en el estado de Washington (EE.UU.) y sucedido en Noviembre de 1940 bajo unas condiciones de carga bastante inferiores a las cargas para las cuales que estaba diseñado (Ilustración 2.7). El viento que originó el fallo de la estructura era de 65 km/h habiendo sido concebida para soportar rachas de más de 140 km/h. El colapso se debió a un problema de vibraciones por el cual el puente se vio sometido a esfuerzos superiores a los que podía estructuralmente soportar.

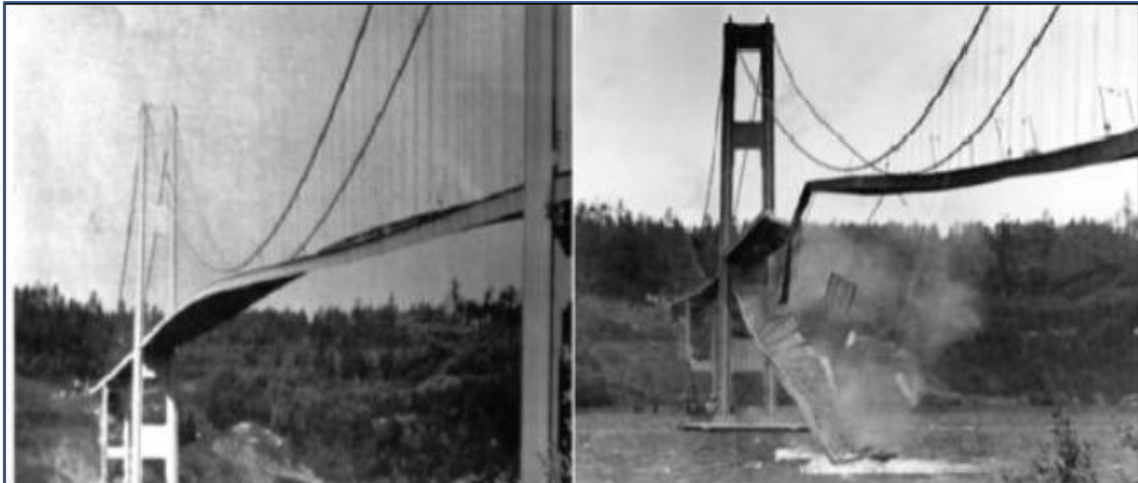


Ilustración 2. 7. Derrumbe del puente de Tacoma Narrows, acontecido en 1940

Este suceso generó un cambio de mentalidad en los ingenieros, que a partir de entonces comenzaron a tener en cuenta de forma seria la problemática de las vibraciones a la hora de diseñar sistemas y estructuras.

2.4. PROCESS COMPENSATED RESONANCE TESTING (PCRT)

Al realizar cualquier tipo de modificación en el seno de un elemento mecánico se genera un cambio en el comportamiento modal del mismo. Esto se ve reflejado en la perturbación de una o varias de las frecuencias naturales asociadas a cada modo de vibración del elemento. Por tanto la existencia de imperfecciones como pequeñas grietas, inclusiones, óxidos, etc. en nuestro elemento van a propiciar una variación específica para cada caso de las frecuencias naturales de vibración, generalmente reduciendo su valor. Esto es lo que permite a la tecnología PCRT buscar modificaciones en la estructura de los componentes, que puedan ser determinantes para su correcto funcionamiento dentro de unas condiciones de servicio determinadas.

Esta técnica de ensayo no destructivo (END) funciona mediante un software analítico y electroscopia de resonancia, es decir, el análisis de las frecuencias propias de un componente. El PCRT es aplicable a cualquier tipo de pieza metálica y cerámica, y se basa en la utilización de la resonancia mecánica, el proceso de compensación en un entorno real de fabricación mas allá de las condiciones de laboratorio, la realización de medidas precisas de frecuencia y la compensación de efectos y temperatura que pudieran afectar a la precisión del estudio de frecuencias (Ilustración 2.8).

Ha sido empleada para detectar grandes imperfecciones en elementos metálicos y cerámicos durante décadas. La tecnología sobre la que se sustenta fue desarrollada a finales de la década de los 80, fruto de uno de los Work Packages del proyecto WIDEM (Wheel set Integrated Design and Effective Maintenance), que ha sido realizado de forma conjunta por algunas de las empresas más influyentes del sector ferroviario y financiado en gran medida por la Unión Europea.

La electroscopia ha sido utilizada principalmente para el control de calidad en la fabricación de componentes de automóviles. Posteriormente fue introducida en otros sectores como el aeronáutico o la inspección y el mantenimiento.

Mediante las técnicas de ensayo no destructivo (END) actuales como radiografías, ultrasonidos, líquidos penetrantes, etc. se detectan defectos en piezas e indicios que puedan representar deficiencias estructurales a lo largo de su vida útil. La carencia fundamental de estas técnicas END radica en que el tamaño aparente del indicio de defecto no es un buen indicador de la relevancia del mismo a la hora de saber si permite un correcto funcionamiento de la pieza para operar en condiciones de servicio. Así, al utilizar esos métodos podemos considerar como piezas defectuosas aquellas que en realidad son válidas para el funcionamiento, con el incremento de coste que conlleva su sustitución.

Estas carencias se ven suplidas con el uso del PCRT que a través del estudio del comportamiento modal, permite apreciar las variaciones de las frecuencias naturales del elemento o sistema mecánico y así prever cambios relevantes en la integridad estructural. El objetivo principal del PCRT es diferenciar las piezas con defectos que podrían tener un fallo prematuro al operar bajo las condiciones de servicio frente a aquellas que no.

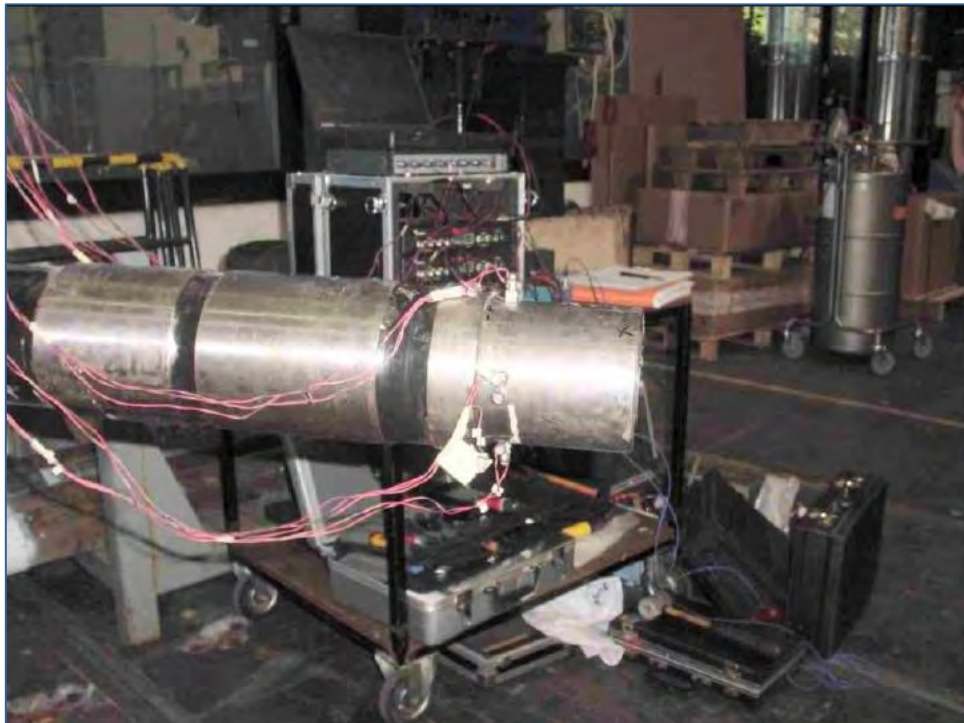


Ilustración 2. 8. Técnica de END mediante tecnología PCRT realizada sobre eje ferroviario

Dentro de los sistemas basados en la tecnología PCRT el hardware se hace cargo de la toma de medidas de las frecuencias, mientras que el software que está basado en el uso de algoritmos que reconocen patrones, estudia el patrón de resonancia para determinar la integridad estructural del elemento mecánico por medio de cambios en las frecuencias modales debido a cargas de trabajo, aparición de grietas, pérdida de material u otros defectos (Ilustración 2.9).

En estos sistemas se emplea un transductor que excita el componente mediante un rango de frecuencias, el rango puede variar desde unos pocos hertzios hasta 5 MHz, dependiendo del tamaño y las propiedades elásticas del material. Además, hay otros dos transductores que reciben la respuesta modal del componente a la excitación producida. En la siguiente figura podemos observar el esquema característico de la tecnología PCRT.

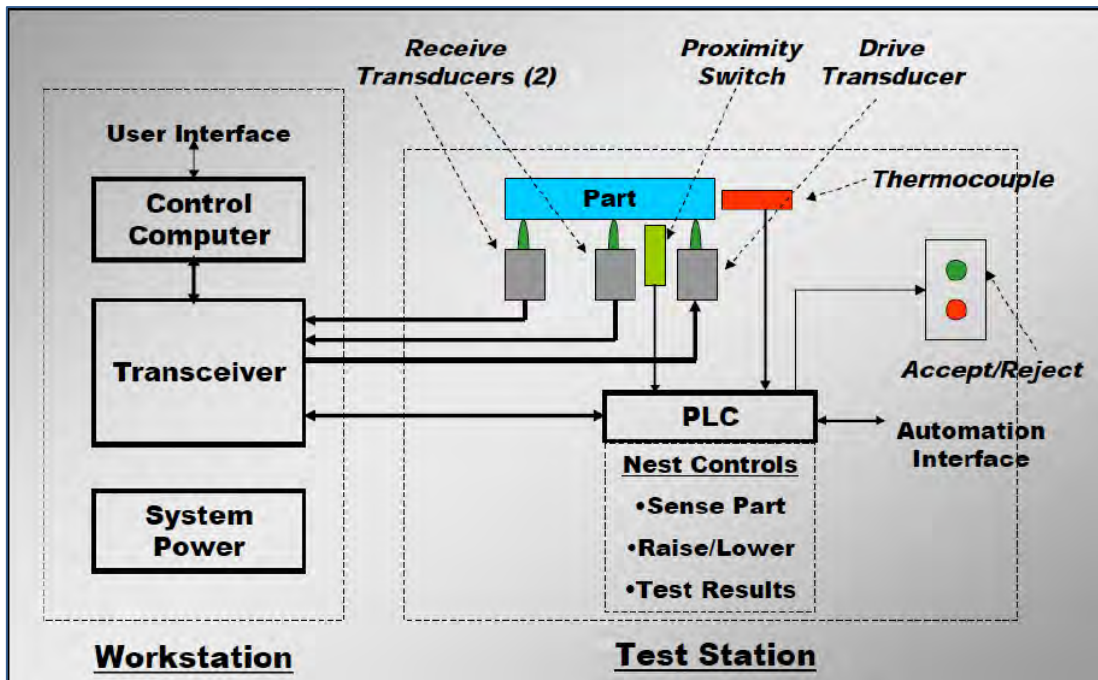


Ilustración 2. 9. Esquema característico de funcionamiento del sistema PCRT

Otra de las ventajas del PCRT frente al resto de técnicas de END es que es capaz de detectar el comienzo del fenómeno de fatiga antes de que aparezca el inicio de la grieta. Además, este sistema no deja lugar a interpretaciones que conlleven a un posible fallo humano, debido a que el software determina en tiempo real si la pieza estudiada se encuentra en óptimas condiciones de funcionamiento o si ha sufrido algún tipo de daño estructural (Ilustración 2.10).

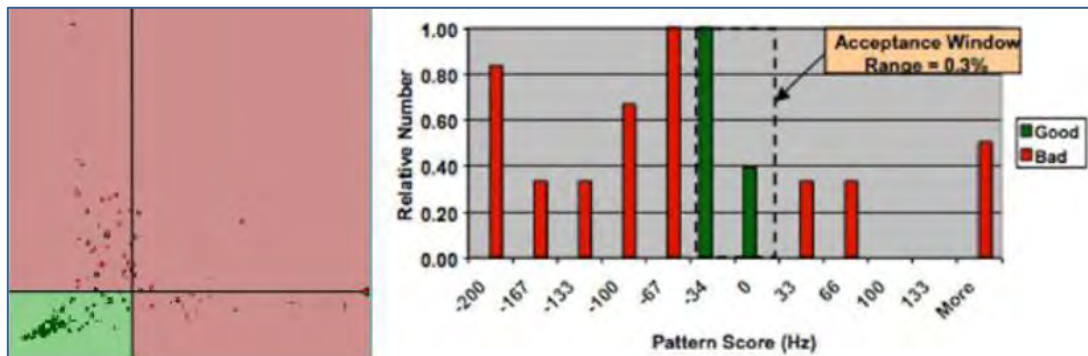


Ilustración 2. 10. El software de PCRT nos muestra las piezas clasificadas en óptimas y defectuosas

2.5. ANÁLISIS MODAL

Puesto que el proyecto se centra en la realización de análisis modales sobre un wheelset ferroviario mediante la realización de ensayos en el software informático Creo Elements/PRO, es necesario definir el concepto de análisis modal y sus aplicaciones prácticas a la hora de estudiar la defectología de los componentes mecánicos.

2.5.1. INTRODUCCIÓN E HISTORIA

Lo fundamental del análisis modal es la interpretación de fenómenos complejos en la estructura dinámica con unos simples componentes, como puede ser, los modos de vibración naturales. Esto viene de una idea atomista, en la cual se buscan los elementos más sencillos y básicos para a partir de ellos obtener las demás sustancias, otro concepto es el de las series de Fourier, la cual de una simple combinación de ondas de seno y coseno, se obtiene una complicada onda, en este sentido se puede dar por hecho el origen del análisis modal, sin embargo hay otros dos hechos representativos para el inicio del análisis modal. El primero se obtiene a partir de las observaciones de Newton, del espectro de la luz solar, la cual confirmó la composición de los colores y sus componentes, en segundo lugar sin ser menos importante se tiene a Fourier, ya que basado en un conocimiento matemático, obtiene que una función periódica arbitraria con un intervalo infinito puede ser siempre representado por un sumatorio de funciones armónicas simples, de aquí el desarrollo del análisis modal.

La teoría del análisis modal se puede definir con una ecuación de onda, la cual puede describir la dinámica de una secuencia de vibraciones, de esta solución se puede obtener las frecuencias naturales, los modos de vibración y la respuesta forzada. Esta parte del análisis modal, se desarrolló en gran parte en el siglo XIX, en esta etapa el análisis modal estuvo ligado a las matemáticas, por el hecho de la solución de las ecuaciones diferenciales parciales, puesto que éstas describen una gran variedad de estructuras dinámicas continuas.

La teoría fue desarrollada tal que un análisis dinámico de la estructura en un sistema arbitrario, puede ser obtenido cuando se conoce la distribución de su masa y dureza en forma matricial. Sin embargo la teoría solo puede ser realizada una vez que las computadoras fueron inventadas. En ese aspecto el análisis modal teórico es mucho más análisis modal numérico.

Es en el siglo XX cuando se inicia el análisis modal experimental. La función vital del análisis modal experimental, es la búsqueda del sistema, como un resultado, lo cual fue desarrollado gracias al avance que se logró en la rama de la ingeniería eléctrica y de sistemas. La afinidad de los circuitos eléctricos y un procedimiento mecánico, acentuó la aplicación de alguna suposición del análisis de circuitos hacia el estudio de sistemas mecánicos. Con lo cual se originaron las técnicas de impedancia mecánica y el análisis del subsistema en la dinámica estructural.

El desarrollo del algoritmo de la transformada de Fourier por J.W.Cooly y J.W.Turkey en 1965, tuvo como objetivo la aplicación rápida y aprovechar una práctica experimental en estructuras dinámicas. Con el FFT, las respuestas de la frecuencia de una estructura pueden ser calculadas mediante una medida de entrada dada y la respuesta resultante. La hipótesis del análisis modal, establece la correlación entre la medida de la FRFs y los datos modales de una muestra probada. Donde se puso énfasis para el desarrollo de esta técnica, fue en derivarla información modal de la medida de FRF. Los pioneros del análisis experimental fueron C.C.Kennedy y C.D.Pancu en 1947 antes de que la FFT se hubiera hecho, pero este método no se siguió desarrollando hasta que el FFT llegó y resurgió el análisis modal experimental, a partir de aquí cuantiosos métodos han sido propuestos y gran parte se han computarizado, incluso estos

métodos son cimentados más en vibraciones libres de una estructura que en su respuesta en frecuencia.

El análisis modal metódico tradicional basado en la proporcionalidad de un modelo de amortiguamiento, fue difundido en uno no proporcional, con lo que se logró abrir el camino para los modos de vibración complejos y se pudo devolver la solución a los problemas dinámicos estructurales inversos como la identificación de la fuerza desde una medida de respuesta y las características no lineales fueron desarrolladas experimentalmente. En la actualidad el campo del análisis modal ha sido de gran ayuda en la rama de la ingeniería y la ciencia.

2.5.2. EL ANÁLISIS MODAL EN LA ACTUALIDAD

En los últimos años el análisis modal se ha convertido en una de las mejores herramientas para la invención y mejora de los diseños de estructuras dinámicas. No solo siendo puesto en práctica en el ambiente mecánico o aeronáutico, sino que se han encontrado grandes aplicaciones en el área civil, biomecánica y estructural. Para comprender esta tecnología es necesario tener el conocimiento base de los otros campos y así encontrar su aplicación dentro de éstos.

En la actualidad en los diseños mecánicos, aeronáuticos o de estructuras civiles complejos se busca una mayor ligereza, flexibilidad y sobre todo que éstos sean más fuertes. En la industria automotriz se necesitan estructuras que aguanten una gran cantidad de kilómetros y además que sean ligeras; en aeronáutica en el caso de los satélites se necesitan estructuras que trabajen en condiciones extremas, que sean duraderas y de fácil mantenimiento. Estas demandas intransigentes de hoy suelen hacer susceptibles las vibraciones no deseadas.

Otro factor importante hoy en día es el de incrementar la demanda, seguridad y rentabilidad de las estructuras y que además cumplan con las regulaciones de los propios gobiernos o con las necesidades del consumidor. Estas demandas se han convertido en todo un reto científico, siendo necesario el entendimiento de las estructuras ingenieriles, donde las vibraciones son de suma importancia, recayendo estos retos en las propiedades dinámicas, usando un análisis numérico, experimental o una combinación de ambos.

El análisis de elementos finitos modelado por una computadora a provisto a los ingenieros una versátil herramienta para el diseño, especialmente en las propiedades dinámicas cuando se necesita un análisis cuidadoso. Este análisis dinámico requiere de una rigurosa teoría para su comprensión y utilización, en especial lo relacionado con las estructuras dinámicas. Y una parte de elementos finitos dinámicos es el análisis modal.

Un solo modelado mediante computadora no puede determinar completamente el comportamiento dinámico de la estructura, porque no conoce con certeza las propiedades dinámicas de la misma, así como tampoco sabe si hay amortiguamiento o no linealidad, como se produce en el tratamiento de modelado tradicional. Muchas veces las condiciones de frontera no son totalmente ciertas ya que son criterios que se toman para ayudar al modelado. Estos avances con las técnicas experimentales son un complemento para la determinación de las propiedades dinámicas de la estructura. Esto se logra gracias al análisis de las series de Fourier de una forma digital. Estas técnicas experimentales se basan en la teoría del análisis modal y dan un nuevo impulso a esto.

2.5.3. DEFINICIÓN

El análisis modal es el proceso de determinación de las características dinámicas inherentes de un sistema en forma de frecuencias naturales, factores e amortiguamiento y los modos de vibración, formulando un modelo matemático para este comportamiento dinámico. El modelo matemático es referido al modelo modal del sistema y a la información modal, es decir a la información de las características que nosotros conocemos.

La dinámica de las estructuras está físicamente descompuesta por frecuencia y posición. Esto se hace claramente evidente para la solución analítica de las ecuaciones diferenciales parciales de un sistema continuo como vigas o cuerdas. El análisis modal se basa en la respuesta de vibración de un sistema dinámico lineal que no varía con el tiempo, esto se puede expresar como la combinación lineal de movimientos armónicos simples, los cuales son llamados modos naturales de vibración (Ilustración 2.11). Este concepto es similar a la combinación de Fourier de las ondas de senos y cosenos para representar una onda compleja. Los modos naturales de vibración son inherentes para un sistema dinámico y completamente determinados por las propiedades físicas (masa, dureza, amortiguamiento) y por la distribución espacial. Cada modelo es descrito en términos de cada parámetro modal: frecuencia natural, el factor de amortiguamiento y la trayectoria de desplazamiento llamada modo de forma. Cada una corresponde a una frecuencia natural. El grado de participación de cada modo natural de vibración es determinado por las propiedades de excitación y por los modos de forma del sistema.

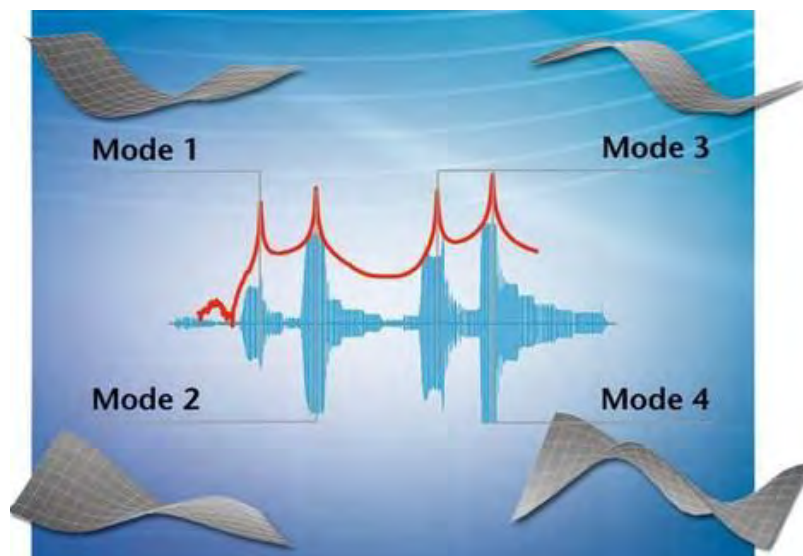


Ilustración 2. 11. Primeros modos naturales de vibración en una placa metálica

El análisis modal se basa tanto en la técnica experimental como en la teórica. El análisis modal teórico recae en el modelo físico del sistema dinámico abarcando las propiedades como masa, dureza, amortiguamiento, etc. Estas ecuaciones se obtienen de las ecuaciones diferenciales parciales. Un ejemplo es la ecuación de la onda de vibración uniforme de una cuerda estableciendo su distribución de masa y propiedades elásticas. La solución de la ecuación se obtiene de las frecuencias naturales, de los modos de forma de la cuerda y de las respuestas de vibración forzada. Un modelo físico más real comprendería las propiedades de masa, dureza y amortiguamiento de forma de la distribución espacial, esto es llamado matriz de masa, dureza y amortiguamiento. Esta matriz es incorporada por una ecuación diferencial normal de movimiento.

El principio de superposición en un sistema lineal dinámico nos permite transformar el problema en un sistema lineal más fácil de comprender. Esta solución es dada por los datos modales del sistema. Los nuevos softwares de análisis de elementos finitos aumentan la discretización de la mayoría de las estructuras dinámicas lineales, su fortalecimiento de capacidades y el avance del análisis modal teórico. Por otro lado la rápida evolución sobre la información adquirida y capacidad de procesamiento ha arrojado grandes avances en el área del análisis experimental.

2.5.4. APLICACIONES PRÁCTICAS

En los últimos años ha habido un gran número de casos de aplicación del análisis modal cubriendo una gran parte del área de ingeniería, ciencia y tecnología. Se cree que en los próximos años el análisis modal va a tener un impulso significativo. Las aplicaciones prácticas del análisis modal están relacionadas en gran parte con el avance de la tecnología experimental. La mayoría de las aplicaciones prácticas descritas en libros pertenecen al ámbito de la ingeniería aeronáutica, la industria del automóvil y la ingeniería mecánica en particular, aunque no hay que menospreciar que la aplicación del análisis modal ha ido tomando cada vez más un carácter interdisciplinar.

En la industria automovilística, la gran comercialización y los aspectos de seguridad asociados al rediseño del vehículo han obligado a un mejor entendimiento de las propiedades dinámicas de la estructura del vehículo y la de cualquier cambio en el diseño. Lo que se está buscando hoy en día es la combinación del análisis modal experimental y del análisis de elementos finitos en el estudio de componentes de automóvil.

Las estructuras de los nuevos vehículos son más ligeras y de alta resistencia. Una combinación del análisis modal experimental y el analítico, provee un diseño de las partes del vehículo y un incremento de las propiedades dinámicas del mismo (Ilustración 2.12). El análisis modal experimental como herramienta juega un papel fundamental en el estudio del ruido y fatiga del vehículo. Un análisis modal simple de un “cuerpo en blanco” o una subestructura es una típica aplicación. Una aplicación sofisticada que se ha logrado es en el panel del suelo del vehículo mediante sensibilidad modal, con lo que podemos estimar la vida de fatiga del vehículo.



Ilustración 2. 12. Estudio de vibraciones aplicado a la industria del automóvil

El análisis modal es una herramienta usada para entender la aparición del ruido en la estructura de los componentes del mismo. El análisis modal también ha logrado una gran aceptación en el área de la ingeniería civil donde la parte más crítica es el análisis estructural. El conocimiento de la dinámica está ocupado en estructuras sujetas a esfuerzos sísmicos y con cargas de viento en las cuales se garantiza la aplicación del análisis modal.

Estas estructuras son usualmente más largas que las estudiadas en mecánica, por eso las pruebas físicas son poco usadas. Después de un gran número de aplicaciones, se ha adquirido un conocimiento con predicción de respuesta de la vibración, pudiendo crear un ambiente de vibración a escala o cargas externas con las que se crean modelos matemáticos que se pueden derivar mediante el análisis modal.

2.5.5. EJEMPLOS DE ANÁLISIS MODAL

Vamos a explicar el funcionamiento de un sistema vibratorio de un grado de libertad, que representamos mediante un cuerpo de masa " m ", paralelo al suelo, un muelle de rigidez " k " sujeto a la pared y un amortiguamiento de " c " que representa el amortiguamiento viscoso, también sujeto a la pared (Ilustración 2.13).

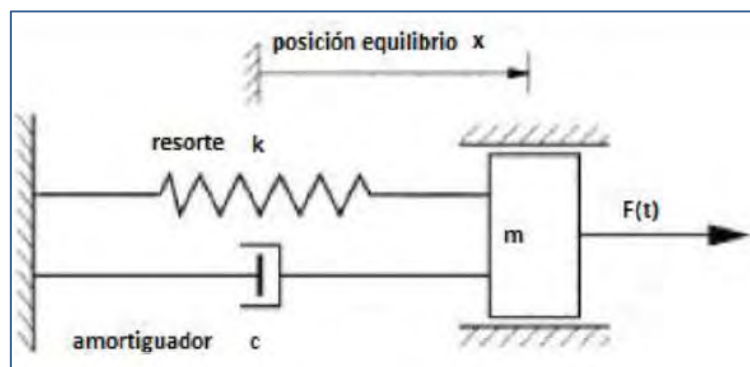


Ilustración 2. 13. Sistema vibratorio de un grado de libertad

Al someter al sistema una excitación éste empezará a vibrar de una forma determinada y característica solo de ese sistema. Esta respuesta del sistema a la excitación dada podemos representarla en un grafico desplazamiento-frecuencia, que nos dará la respuesta modal del sistema (Ilustración 2.14). Pueden ser funciones no armónicas que podrán ser descompuestas en funciones armónicas gracias a la transformada de Fourier.

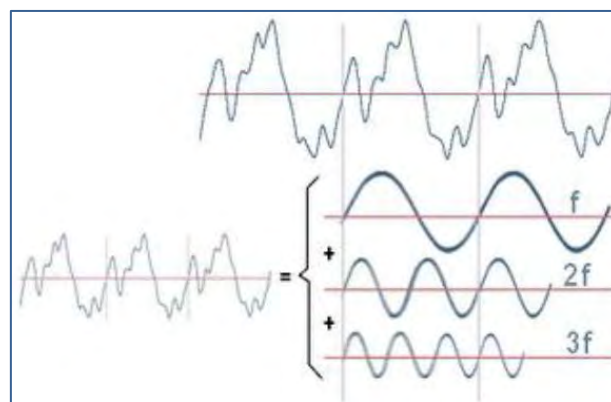


Ilustración 2. 14. Descomposición de una onda

Esta vibración llamada vibración del sistema y su frecuencia natural, ω_n , se define como:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Cada modo tiene una forma propia de vibración. Para obtener todos los modos de vibración, así como sus frecuencias naturales, deberíamos realizar esta misma operación en cada uno de los posibles sistemas de un grado de libertad existentes. Un sistema con n grados de libertad da lugar a una vibración proveniente de la combinación de n sistemas de un grado de libertad. Se puede entender entonces, que cada estructura es una superposición de muchos sistemas de un grado de libertad y que al vibrar lo hacen como una combinación de modos fundamentales de vibración de sistemas de un grado de libertad.

Vibraciones longitudinales de una cuerda.

La ecuación diferencial del movimiento ondulatorio utilizada para la obtención de los modos normales de vibración de una cuerda es:

$$v \frac{\delta^2 \psi}{\delta x^2} = \frac{\delta^2 \psi}{\delta t^2}$$

Siendo v la velocidad de propagación de las ondas en la cuerda y ψ el desplazamiento transversal de un punto x de la cuerda en el instante t (Ilustración 2.15). Estudiando una solución de la forma:

$$\psi(x, t) = y(x) \cdot \text{sen}(\omega t)$$

Cada punto de la cuerda vibra con una amplitud $y(x)$ y con una frecuencia angular ω . Convirtiéndose la ecuación diferencial en:

$$\frac{\delta^2 y}{\delta x^2} + \frac{\omega^2}{v} y = 0$$

La solución de esta ecuación diferencial, similar a la de un movimiento armónico simple, es:

$$y = A \cdot \text{sen}(kx) + B \cdot \cos(kx) \quad \text{donde } k = \omega/v$$

A continuación aplicamos las siguientes condiciones de contorno: la cuerda esta fija por sus extremos $x=0$ y $x=L$. De la primera condición, tenemos que $B=0$, y de la segunda $\text{sen}(kL)=0$, o bien $kL=n\pi$, con $n=1,2,3...$ que nos da las distintas frecuencias de vibración de la cuerda.

$$f_n = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{n}{2L} \quad n = 1,2,3 \dots$$

La amplitud de las oscilaciones de los puntos x de la cuerda en el modo normal n es:

$$y_n = A \cdot \text{sen}\left(\frac{n\pi}{L}x\right)$$

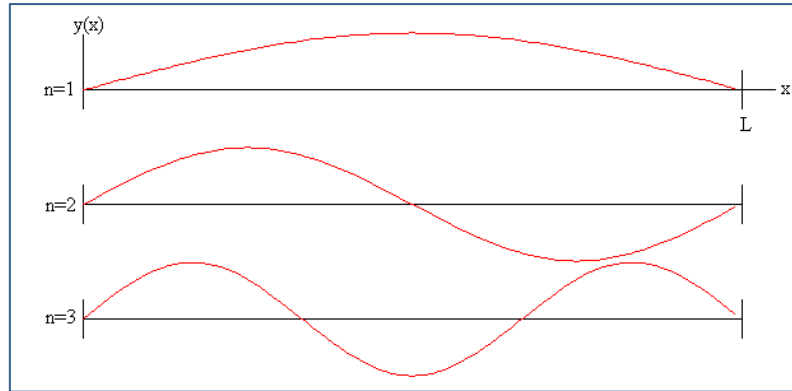


Ilustración 2. 15. Primeros 3 modos de vibración de una cuerda con extremos fijos

Vibraciones longitudinales de una barra.

Para encontrar los modos normales de vibración de una barra elástica con ambos extremos fijos seguimos un procedimiento similar al anterior.

La ecuación diferencial del movimiento de un elemento de la barra es:

$$\frac{\delta^4 \psi}{\delta x^4} + \frac{\rho A}{YI} \frac{\delta^2 \psi}{\delta t^2} = 0$$

Siendo ψ el desplazamiento transversal de un punto x de la cuerda en el instante t , ρ es la densidad de la barra, Y es el módulo de Young del material de la barra e I es el momento de inercia de la sección transversal de dicha barra.

Estudiando una solución de la forma: $\psi(x, t) = y(x) \cdot \text{sen}(\omega t)$

Cada punto de la barra vibra con una amplitud $y(x)$ y con una frecuencia angular ω . La ecuación diferencial se convierte en:

$$\frac{\delta^4 \psi}{\delta x^4} - \frac{\rho A}{YI} \omega^2 y = 0$$

Las raíces de la ecuación característica son:

$$r^4 - q^4 \quad q = \left(\frac{\rho A}{YI} \omega^4 \right)^{1/4}$$

Son dos raíces reales y dos imaginarias $r = q$, $r = -q$, $r = iq$, $r = -iq$.

La solución general es: $y(x) = C_1 e^{qx} + C_2 e^{-qx} + C_3 e^{iqx} + C_4 e^{-iqx}$

O de forma equivalente:

$$y = A_1 \cdot \text{senh}(qx) + A_2 \cdot \text{cosh}(qx) + A_3 \cdot \text{sen}(qx) + A_4 \cdot \text{cos}(qx)$$

La pendiente o derivada de y es:

$$\frac{\delta y}{\delta x} = q[A_1 \cdot \text{cosh}(qx) + A_2 \cdot \text{senh}(qx) + A_3 \cdot \text{cos}(qx) - A_4 \cdot \text{sen}(qx)]$$

Aplicando las siguientes condiciones de contorno:

- La barra está firmemente sujeta por sus extremos $x = 0$ y la pendiente en este punto tiene un valor $\frac{\delta x}{\delta y} = 0$:

$$\begin{aligned}0 &= A_2 + A_4 \\0 &= A_1 + A_3\end{aligned}$$

- La barra está firmemente sujeta por sus extremos $y = 0$ y la pendiente en este punto tiene un valor $\frac{\delta x}{\delta y} = 0$:

$$\begin{aligned}0 &= A_1 \cdot [\sinh(qL) - \sin(qL)] + A_2 \cdot [\cosh(qL) - \cos(qL)] \\0 &= A_1 \cdot [\cosh(qL) - \cos(qL)] + A_2 \cdot [\sinh(qL) + \sin(qL)]\end{aligned}$$

Eliminando A_1 y A_2 obtenemos una ecuación trascendente en qL .

$$[\sinh(qL) - \sin(qL)] \cdot [\sinh(qL) + \sin(qL)] - [\cosh(qL) - \cos(qL)]^2 = 0$$

Las raíces $r_n = q_n \cdot L$ de esta ecuación se calculan por el procedimiento numérico del punto medio y sus cinco primeros valores son:

$$r_n = 4.73, 7.85, 11, 14.14, 17.27$$

Conocidos los valores posibles de q_n se calculan las frecuencias de vibración

$$\omega_n = 2\pi f_n$$

$$f_n = \frac{r_n^2}{2\pi} \frac{\sqrt{YI}}{\rho A L^4} = C_n \frac{\sqrt{YI}}{\rho A L^4}$$

Donde f_n es la frecuencia del modo normal n de vibración y C_n es un número que corresponde a este modo. Sus primeros valores son:

$$C_1 = 3.56, C_2 = 9.82, C_3 = 19.2, C_4 = 31.8, C_5 = 47.5$$

El coeficiente C_n es independiente de las características de la barra y el segundo término, bajo la raíz, depende del material y de las dimensiones de la barra.

La amplitud de la vibración $y(x)$ de los distintos puntos x de la barra en el modo normal de vibración n es:

$$y_n(x) = A \cdot \left[(\sinh(q_n x) - \sin(q_n x)) - \frac{\sinh(q_n L) - \sin(q_n L)}{\cosh(q_n L) - \cos(q_n L)} \cdot (\cosh(q_n x) - \cos(q_n x)) \right]$$

El valor de la constante de proporcionalidad A es la escala vertical. Para que todos los modos de vibración estén representados con la misma escala, se calcula A por procedimientos numéricos, de modo que:

$$\int_0^L y_n^2(x) dx = cte$$

Modos normales de un sistema tridimensional.

Un trozo macizo de cualquier material tiene siempre cierto grado de elasticidad y, en consecuencia, tiene un espectro de modos normales de vibración. Esto será cierto incluso si, como en el caso de las cuerdas y barras que acabamos de estudiar imaginamos que sus límites se encuentran fijos.

En el caso de sistemas unidimensionales y bidimensionales, se ha podido discutir y describir los modos característicos de la oscilación transversal de un modo claro. Al pasar a sistemas tridimensionales ya no queda ninguna dirección de repuesto, por lo tanto nos conformaremos con señalar que se puede plantear para el caso de tres dimensiones una ecuación diferencial del movimiento que tiene una analogía estricta con las ecuaciones que se han desarrollado previamente para una o dos dimensiones.

La ecuación será de la forma:

$$\frac{\delta^2 \psi}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 \psi}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 \psi}{\delta z^2} = \frac{1}{v^2} \cdot \frac{\delta^2 \psi}{\delta t^2}$$

En el caso tridimensional deben especificarse las condiciones límite para todas las superficies exteriores del sistema. Debido a la complejidad de estos cálculos nos vemos sometidos a la utilización de un programa de simulación y análisis de elementos finitos, como es Creo Elements/PRO.





CAPÍTULO 3

Material rodante ferroviario



3.1. INTRODUCCIÓN

El hecho diferencial que distingue al ferrocarril del resto de sistemas de transporte terrestre rodado es su circulación orientada sobre las vías, en las que se genera el contacto rueda-raíl. Por tanto las vías aportan la doble función de soporte de las ruedas y del resto de material rodante que compone el tren y de guiado del convoy tanto en tramos rectos como en los cambios de dirección y cruces.

A diferencia del contacto que se produce en el resto del transporte rodado, que suele ser el generado por el contacto del caucho de los neumáticos con el pavimento o asfalto, en el ferrocarril se produce un contacto rueda-raíl cuyo coeficiente de rodadura es notablemente inferior. Esto conlleva un ahorro considerable de combustible, tonelada transportada por kilómetro, y por tanto un efecto menos nocivo para el medioambiente.

Este contacto rueda-raíl tiene lugar dentro de los elementos que componen el material rodante ferroviario (Ilustración 3.1), denominando así a todo equipo apto para circular sobre las líneas ferroviarias (UNE 25-087-74). Distinguiendo dos grandes grupos:

- Material de tracción: es aquel que consta de un motor para proporcionar su autopropulsión y/o la tracción del material rodante. Dentro de éste se engloban tres tipos:
 - *Vehículo tractor*: sirve para remolcar el material rodante ferroviario pero no permite el transporte de carga útil.
 - *Vehículo automotor*: está concebido para el transporte sobre él de carga útil, aunque también puede ser empleado para remolcar otros vehículos ferroviarios.
 - *Material auxiliar*: presta servicio a los dos tipos de vehículos anteriores.
- Material remolcado: también denominado equipos de arrastre, son elementos acoplados al material de tracción, que son empujados o arrastrados por éste. Son empleados para el transporte de personas y/o bienes materiales (mercancías) o para prestar servicio auxiliar.



Ilustración 3. 1. Material rodante circulando sobre las líneas ferroviarias

3.2. BOGIE

Es la estructura rodante sobre la que descansan los vagones del ferrocarril y las locomotoras actuales, que no usan ejes simples. Este órgano de rodadura montado sobre una estructura independiente tiene diferentes ventajas sobre los vehículos de ejes simples (Ilustración 3.2):

- Los ferrocarriles con este sistema pueden describir trayectorias más cerradas.

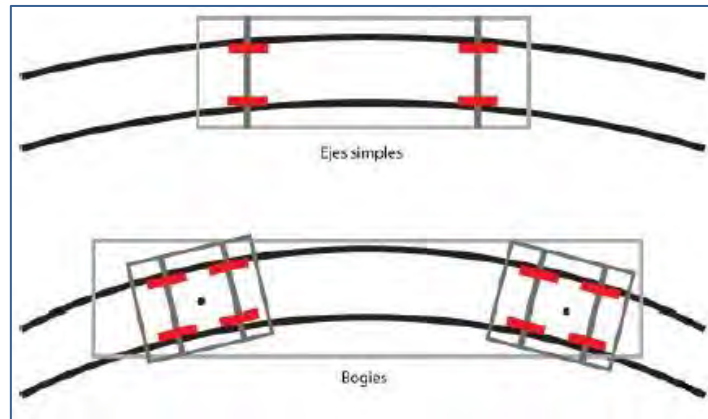


Ilustración 3. 2. Comparativa de ferrocarril con ejes simples frente a bogie

- Al llevar bogie son vehículos más pesados que los de dos ejes, pero en cambio su diseño es más simple con lo que proporcionan mayor fiabilidad y un mejor mantenimiento (Ilustración 3.3).
- La utilización de los bogies proviene de la necesidad de compatibilizar la distribución del peso del vehículo en más de dos ejes con el paso del vehículo por las curvas sin que se generen esfuerzos excesivos.
- Pequeños ángulos de ataque de las ruedas contra la vía.
- Ausencia de unión directa entre ejes y vehículo.

Inicialmente los bogies solo capacitaban al órgano de rodadura a realizar pequeños giros en un plano horizontal respecto a pudiendo atacar las curvas con un ángulo. En la actualidad, sin embargo, los bogies transmiten todas las fuerzas entre el cuerpo del coche y los ejes montados.



Ilustración 3. 3. Situación del bogie en el ferrocarril

El bogie se compone generalmente dos ejes montados (o wheelsets) sobre un bastidor, que incorpora una suspensión propia llamada suspensión secundaria (Ilustración 3.4). Hay además una suspensión colocada entre el bogie y el bastidor que es la primaria, quedando la caja del vehículo unida al bastidor mediante el pivote. Otros de los elementos principales que forman el bogie son la caja de grasa, los sistemas de transmisión de fuerza motriz y de frenado y los elementos auxiliares.

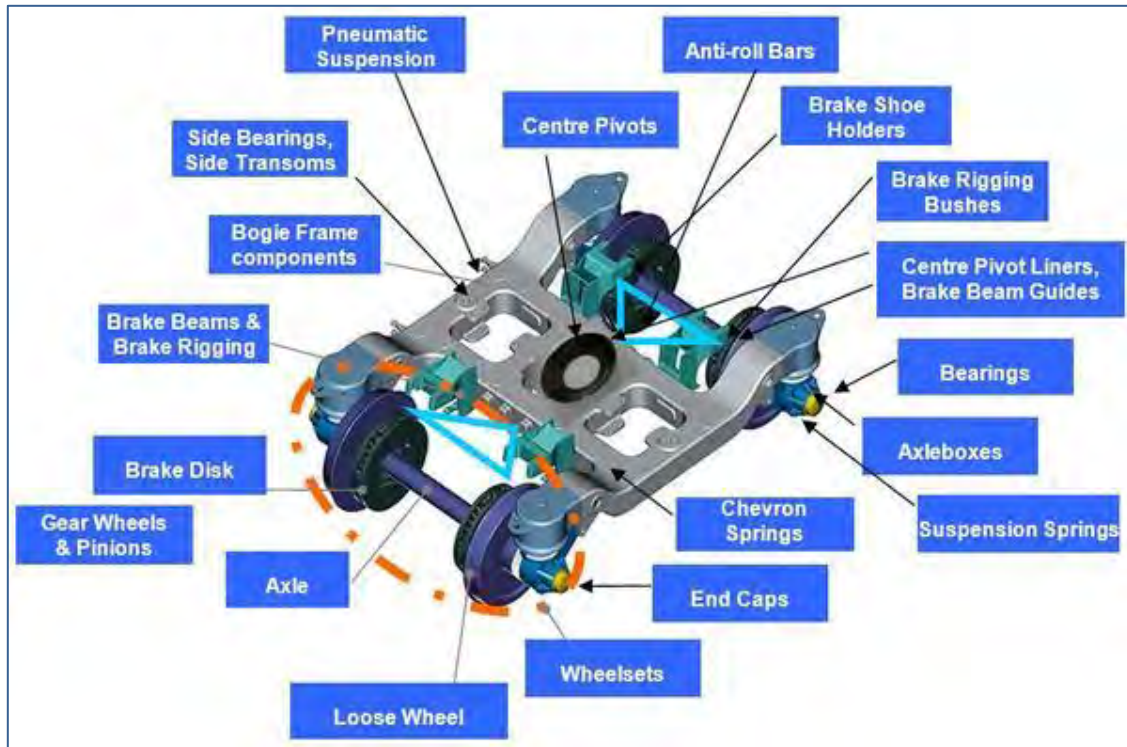


Ilustración 3. 4. Componentes principales del bogie

3.2.1. FUNCIONES PRINCIPALES DEL BOGIE

Además de la función básica de transmitir la carga vertical del vagón al raíl el bogie tiene otros cometidos:

- Guiado del vehículo a lo largo del trazado.
- Transmisión de las cargas del vehículo ferroviario, comprendiendo cargas de tipo longitudinal, vertical y lateral, de las ruedas a la vía.
- Aplicación de las fuerzas de tracción y de frenado.
- Control de las fuerzas dinámicas generadas por el movimiento del convoy al encontrarse diversas situaciones sobre el trazado como cambios de dirección, cruces, irregularidades, y después de cruces entre vehículos.
- Amortiguar y absorber las oscilaciones que se produzcan garantizando el confort.
- Minimizar la generación de irregularidades en la vía y la abrasión de los carriles.

3.2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE BOGIE

Vamos a realizar la clasificación de los bogies atendiendo a dos criterios, basándonos en el número de ejes montados y en el diseño y estructura de la suspensión.

- Número de ejes montados:

Se clasifican en bogies de un solo eje, de dos, de tres, etc., según el número de ejes que lo componen (Ilustración 3.5). El tipo más utilizado es el bogie de dos ejes. Además de su estructura relativamente sencilla, tiene la ventaja de minimizar el impacto de las irregularidades de la vía a los vagones en comparación con las de un solo eje.

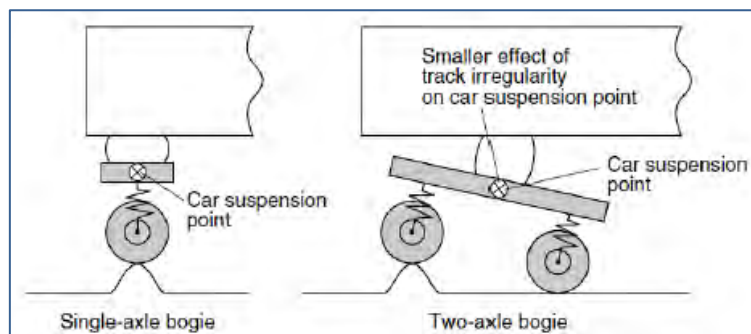


Ilustración 3. 5. Comparativa de bogie con un solo eje y con dos

Además tradicionalmente, cada vagón posee dos bogies, uno en la parte delantera y otro en la trasera. Este sistema se sigue empleando hoy día en todo tipo de trenes para transporte de personas, incluso para transporte de mercancías dado que permite soportar grandes pesos.

- Bogies articulados y no articulados:

Dependiendo de la suspensión, los bogies pueden clasificarse en articulados y no articulados (Ilustración 3.6). Dos bogies no articulados soportan el cuerpo de un solo vagón, mientras que un bogie articulado soporta la parte posterior del vagón precedente y la parte delantera del vagón anterior. Como ejemplo de bogies articulados tenemos el Talgo español y el TGV francés y en algunas líneas del metro de Tokio. Aunque el bogie articulado presenta algunas desventajas frente al no articulado, las ventajas que ofrece son muy significativas como es el confort durante el viaje y el menor ruido ya que los asientos no están encima de los bogies.

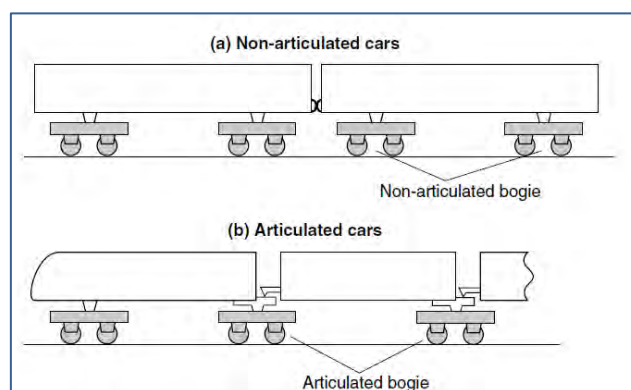


Ilustración 3. 6. Bogies no articulados (a) frente a bogies articulados (b)

- Bogie de suspensión colgante y bogie de muelle lateral rígido reforzado

Basados en la estructura del equipo de suspensión los bogies se clasifican en dos tipos, bogie de suspensión colgante y bogie con un pequeño muelle lateral rígido reforzado (Ilustración 3.7). El bogie de suspensión colgante consigue un buen confort durante el viaje mediante la minimización de la rigidez horizontal del equipo de suspensión, pero su mantenimiento es relativamente difícil debido a su compleja estructura y a la gran cantidad de piezas. El bogie con un pequeño muelle lateral rígido reforzado se remplazó por los de suspensión colgante debido a la sencillez de su diseño.

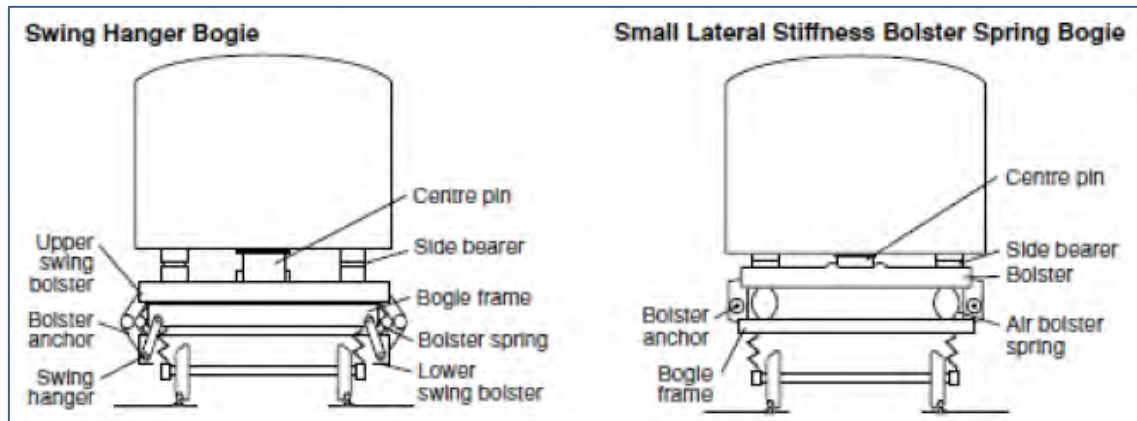


Ilustración 3. 7. Bogie de suspensión colgante y bogie de muelle lateral rígido reforzado

- Bogie con y sin refuerzo:

Estos bogies se diferencian por su equipo de suspensión. El bogie con refuerzo se desarrolló primero. Una característica del bogie es que tiene que girar de forma relativa al cuerpo en las curvas, manteniendo al mismo tiempo una elevada resistencia a la rotación en tramos rectos donde se alcanzan velocidades elevadas. Para conseguir esto, el bogie con refuerzo tiene un pivote central que sirve como centro de rotación y soportes laterales que resisten la rotación. Los bogies sin refuerzo mejoraban sus cualidades reduciendo el número de partes y el peso de éste (Ilustración 3.8).

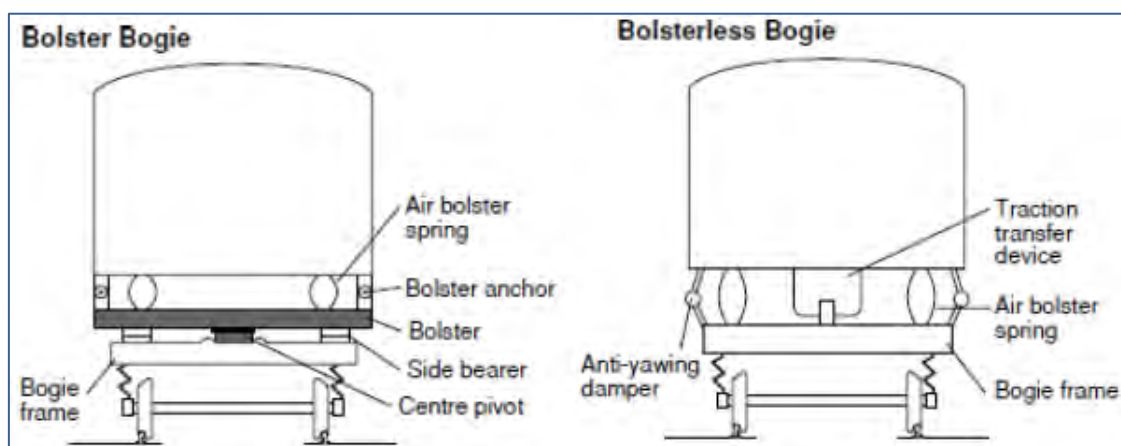


Ilustración 3. 8. Bogie con refuerzo y bogie sin refuerzo

3.3. BASTIDOR O CHASIS

El chasis acomoda distintos equipos al bogie y se encarga de transmitir todas las fuerzas longitudinales, laterales y verticales entre los ejes montados y el cuerpo del vehículo (Ilustración 3.9). La mayoría de los chasis de bogies poseen una sola etapa de suspensión, bien entre la caja de grasas y el chasis o entre el chasis y el cuerpo del vagón. Algunos chasis de bogies de pasajeros utilizan las dos suspensiones, tanto la primaria como la secundaria, para de esta manera mejorar la aislación del exceso de las vibraciones que se producen durante la marcha.

A los bogies que disponen de una suspensión central se les denomina comúnmente como bogies de “tres piezas” y su uso está extendido en países como Canadá, Estados Unidos, China, Australia, etc. El chasis de tres piezas consiste del refuerzo y dos chasis laterales que están conectados elásticamente por muelles helicoidales y un sistema de suspensión central que consiste en un nido de muelles helicoidales y cuñas de fricción, los cuales aparte resisten cargas asimétricas y mantienen al chasis cuadrado en el plano.

El cuerpo del vagón se conecta al chasis del bogie por medio de un plato central plano y soportes laterales rígidos. Los chasis laterales se apoyan en los ejes montados y dependiendo de la caja de grasas la unión entre estos será distinta para cada caso.

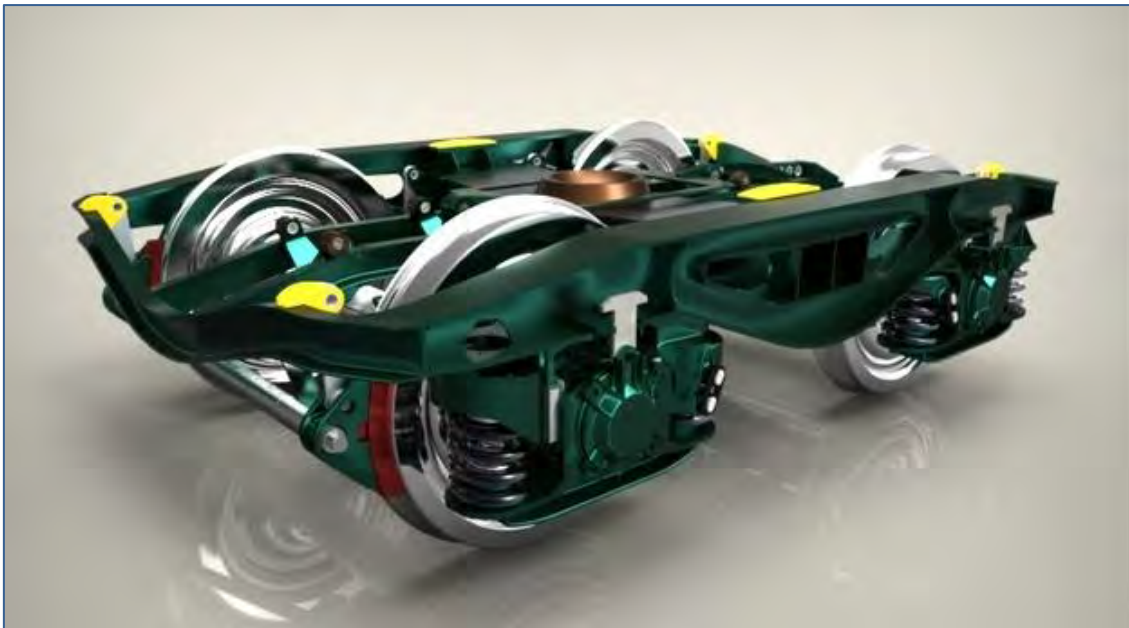


Ilustración 3. 9. Bastidor o chasis de bogie.

3.4. CAJA DE GRASA

Es un dispositivo que conecta el eje a la suspensión del vehículo a través de la mangueta, permitiendo la transmisión de los esfuerzos de tracción o frenado y el giro del eje, lubricándolo y disminuyendo el rozamiento y el calentamiento. Los diseños actuales llevan alojados rodamientos de bolas o rodillos, mientras que en sus comienzos estaban formadas por cojinetes de fricción y un lubricante de engrase.

3.4.1. CLASIFICACIÓN DE LAS CAJAS DE GRASA

Realizaremos la clasificación de las cajas de grasa atendiendo a dos diferentes criterios:

- Posición de los rodamientos en el eje:

Existen cajas de grasa con los rodamientos en la parte exterior y otras con los rodamientos en la parte interior.

- El tipo de rodamientos utilizados:

Pueden llevar distintos tipos de rodamientos como son los planos y los de rodillo. La caja de grasa se diseña para poder conseguir una distribución uniforme de las fuerzas en los rodamientos. La forma externa de la caja de grasas será distinta según sea el método utilizado para unirla al chasis del bogie.

- Caja de grasa con rodamientos planos (Ilustración 3.10):

Están formadas por el alojamiento (1), el propio rodamiento (2), la carcasa de rodamiento (3), que se encarga de transmitir las fuerzas desde la caja de grasa al rodamiento, un dispositivo de lubricación (4) para lubricar el eje del rodamiento, los precintos frontal (6) y trasero (5) que previenen la suciedad y los cuerpos extraños dentro de la caja, pudiendo el precinto frontal ser retirado para comprobar el estado del rodamiento y añadir lubricante.

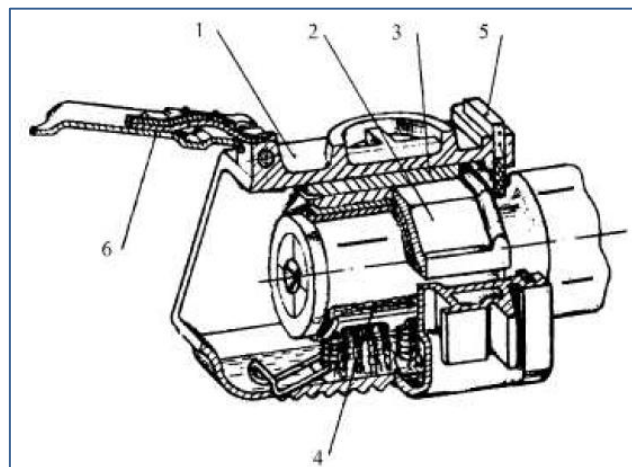


Ilustración 3. 10. Caja de grasa con rodamientos planos

Las fuerzas verticales y longitudinales se transmiten por la superficie interna del rodamiento y las fuerzas laterales por sus caras.

Las cajas de grasa con rodamientos planos se están quedando obsoletas ya que tienen varias desventajas como son: un elevado coeficiente de presión cuando se parte del reposo, poca fiabilidad, una labor de mantenimiento laboriosa, y una contaminación con el medio.

Sin embargo, atendiendo al comportamiento dinámico del vehículo este tipo de cajas de grasa tienen aspectos positivos. También hay cajas de grasa con rodamientos planos que no necesitan lubricación aunque su uso es todavía minoritario.

- Caja de grasa con rodamientos de rodillos:

Las cajas de grasa con rodamientos de rodillos se pueden clasificar según sus rodamientos cilíndricos, cónicos o esféricos y según el método de ajuste por presión o por calentamiento.

Según sus rodamientos de rodillos:

- ❖ Rodamientos de rodillos cilíndricos (Ilustración 3.11): tienen una elevada capacidad dinámica en la dirección radial, pero no transmiten fuerzas axiales. Según la experiencia en el ámbito ferroviario se sabe que las caras de los rodillos pueden soportar esfuerzos laterales. Pero para hacer esto de forma satisfactoria es necesario regular tanto el diámetro como la longitud de los rodillos y la holgura axial y radial.

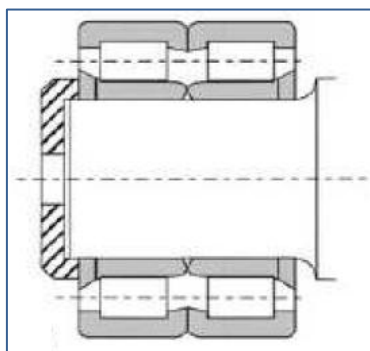


Ilustración 3. 11. Caja de grasa con rodamientos de rodillos cilíndricos

- ❖ Rodamientos de rodillos cónicos (Ilustración 3.12): transmiten las fuerzas axiales a través de la superficie cilíndrica debido a su inclinación para la rotación del eje. Es necesario mantener las tolerancias entre los diámetros de las bolas y las holguras casi un orden de magnitud más ajustadas que para rodamientos cilíndricos. Los rodamientos cónicos tienen un elevado coeficiente de fricción con respecto a los rodamientos cilíndricos y por lo tanto generan más calor. Esto produce un incremento en el consumo en la tracción y crea problemas para los diagnósticos de las unidades de la caja de grasa durante el movimiento.

Recientemente se empezaron a usar rodamientos antifricción cuya característica principal es que el rodamiento no se desmonta por ajuste sino que es instalado como una pieza única.

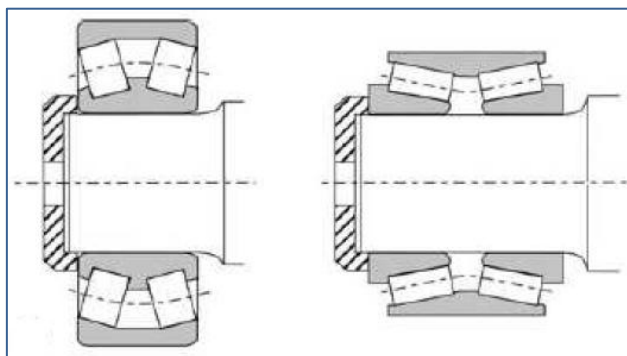


Ilustración 3. 12. Caja de grasa con rodamientos de rodillos cónicos

- ❖ Rodamientos de rodillos esféricos: Los rodamientos de bolas no han sido mayoritariamente usados debido a los elevados costes y bajas capacidades de carga, aunque su ventaja es que distribuye mejor la carga. A menudo los rodamientos de bolas están combinados con rodamientos de rodillos en aplicaciones ferroviarias para transmitir las fuerzas axiales.

El material rodante de alta velocidad (Ilustración 3.13) tiene a menudo tres rodamientos alojados en la caja de grasa, dos transmitiendo fuerzas radiales y uno, a menudo de bolas, transmitiendo fuerzas axiales.

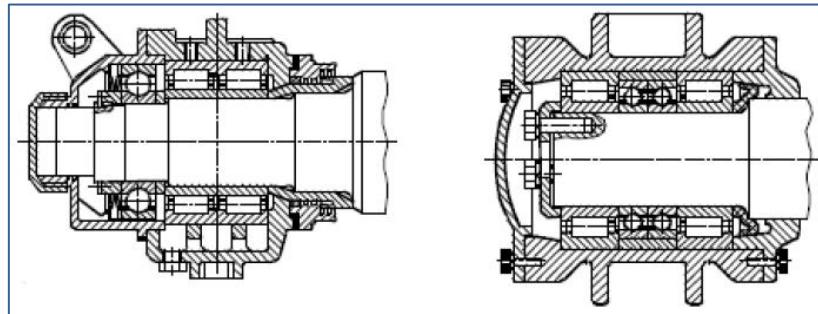


Ilustración 3. 13. Caja de grasa con rodamientos triples de alta velocidad

3.5. TRANSMISIÓN

Para aplicar la potencia generada en el motor o distribuida mediante energía eléctrica o de cualquier otro tipo, uno o más ejes deben formar parte del sistema de transmisión. La definiremos como el sistema mecánico capaz de ejercer una fuerza descentrada sobre el eje que, con la reacción del apoyo del eje, da lugar a un momento de fuerzas sobre el eje que es transferido hacia las ruedas para impulsar al vehículo (Ilustración 3.14).

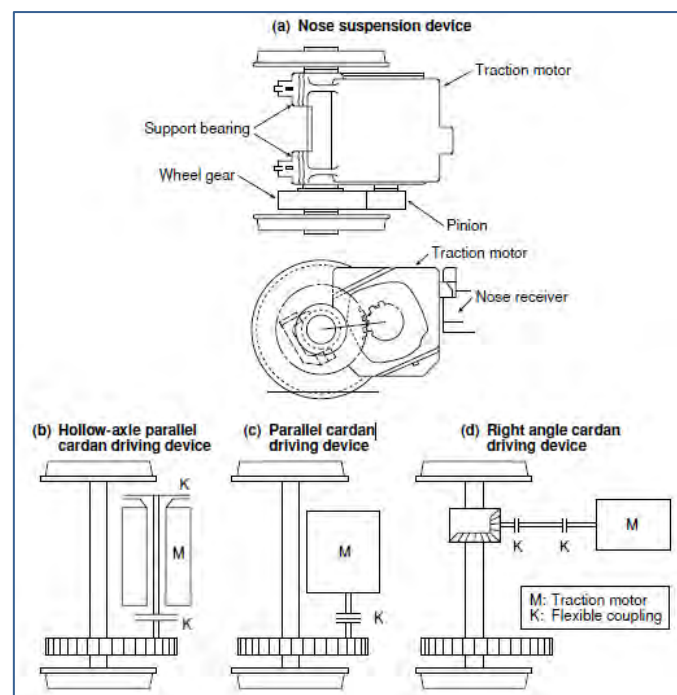


Ilustración 3. 14. Sistemas de transmisión.

La fuerza del motor se transmitirá a los ejes a través de engranajes y acoplamientos flexibles. A lo largo del tiempo se han ido utilizando diferentes diseños para transmitir el movimiento generado por el motor al eje, pero el diseño que se utiliza en la mayoría de los casos es la junta Cardan provista con un motor pequeño de alta velocidad situado en la estructura del bogie. Este diseño supone una reducción considerable de tamaño y del peso del bogie así como el tamaño de su base.

3.6. DISPOSITIVOS DE FRENADO

Para disminuir la velocidad de un vehículo ferroviario se aplica una fuerza descentrada de forma que, con la reacción del apoyo del eje, se forma un momento de fuerzas en sentido contrario a la rotación de la rueda.

Los diferentes sistemas de freno tanto para tracción diesel como eléctrica se clasifican de la siguiente forma:

- De adherencia:
 - Clásicos:
 - ❖ De zapata.
 - ❖ De disco.
 - ❖ De galga y husillo.
 - ❖ De carril: mordazas.
 - Motor:
 - ❖ Reostático.
 - ❖ Recuperación.
 - Hidráulicos.
 - Foucault rotativo.
- Sin adherencia:
 - Patín electromagnético.
 - Foucault sobre carril.
 - Aerodinámicos.
 - Reacción.

3.7. SISTEMA DE SUSPENSIÓN

El sistema de suspensión de un tren tiene como principal fin soportar las cargas provenientes del mismo, permitir su movimiento elástico controlado sobre sus ejes o bogies y absorber la energía producida por las irregularidades de la vía para mantener la estabilidad del vehículo, proporcionando el confort y seguridad necesarios a los pasajeros y/o bienes materiales que se transporta, reduciendo en cuanto sea posible los movimientos verticales, longitudinales, transversales y angulares de la parte suspendida. Además de cumplir estas funciones este sistema debe garantizar la protección del resto de componentes que conforman el material rodante ferroviario así como de la vía sobre la que circule, independientemente de las condiciones de servicio y de la infraestructura en las que se encuentre operando.

Por ello se debe mantener la estabilidad del vehículo en todo momento haciendo frente a los obstáculos, los desniveles de la ruta, el radio de viraje y la pendiente. El sistema de suspensión suele estar ubicado en el vehículo entre el suelo y el bastidor y está constituido genéricamente por los mismos componentes para todo tipo de vehículos diferenciándose en sus tipos y dimensiones de acuerdo a las prestaciones del vehículo y su función. Las suspensiones de los vehículos constituyen un aspecto fundamental del diseño mecánico de cualquier vehículo. Sin embargo, en la mayor parte de los vehículos el diseño de la suspensión afecta también a otras prestaciones del mismo. Así, en los vehículos ferroviarios el diseño de la suspensión influye sobre la estabilidad estática y dinámica y sobre los esfuerzos.

3.7.1. SUSPENSIÓN PRIMARIA

Es el sistema principal de suspensión del tren de rodadura y se encuentra situado entre el wheelset y el bastidor del bogie (Ilustración 3.15). Cumple dos funciones principales, por una parte reduce el nivel de vibraciones que soporta el bastidor del bogie y los elementos montados sobre él. Por otra parte asegura un reparto homogéneo de cargas sobre las ruedas, lo cual es fundamental de cara a las prestaciones de freno y tracción y para evitar el riesgo de descarrilamiento.

Los elementos de la suspensión primaria, además de asegurar la suspensión vertical, están relacionados con el guiado de los ejes en direcciones longitudinales y laterales. Las rigideces de guiado resultan determinantes para definir la estabilidad dinámica del vehículo y los esfuerzos rueda-carril que se producen al paso por la curva.

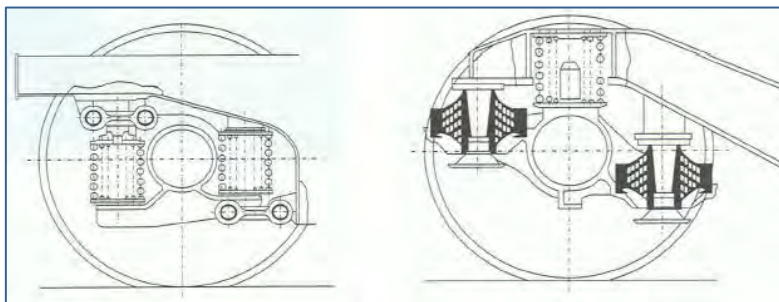


Ilustración 3.15. Sistemas de suspensión primaria

A medida que aumentan las sollicitaciones dinámicas y velocidades, estas suspensiones primarias se complican, pasando del simple montaje de resorte y amortiguador (Ilustración 3.16), o de campanas de goma o caucho, a montajes muy complejos y avanzados.

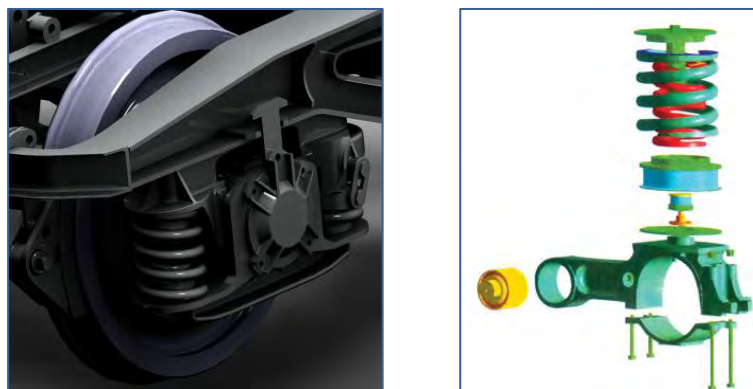


Ilustración 3.16. Sistema de suspensión primaria y su detalle de montaje

3.7.2. SUSPENSIÓN SECUNDARIA

Este sistema se sitúa entre el bastidor del bogie y la caja del vehículo ferroviario y tiene como funciones absorber las vibraciones en las direcciones vertical y lateral, aportando de esta manera confort y estabilidad a los pasajeros y a los bienes materiales transportados (Ilustración 3.17). Cabe destacar la gran flexibilidad que presentan habitualmente este tipo de sistemas.



Ilustración 3. 17. Situación del sistema de suspensión secundaria y su detalle de montaje

3.8. EJE MONTADO/CONJUNTO DE RODADURA

El eje montado, también conocido como conjunto de rodadura o wheelset está compuesto por dos ruedas solidariamente unidas, de forma simétrica con respecto a la sección transversal media, a un eje común (Ilustración 3.18). A su vez el eje se encuentra soportado por la estructura del bogie mediante rodamientos montados en la caja de grasa. Las principales funciones que debe acometer el conjunto de rodadura son:

- Determinar la distancia de separación vertical del vehículo con respecto al trazado.
- Suministrar las fuerzas de transmisión y frenado a los raíles para acelerar y decelerar el vehículo al que va acoplado.
- Orientar de forma correcta al vehículo a lo largo del trazado ferroviario, promoviendo de esta forma el desplazamiento longitudinal a lo largo de este.



Ilustración 3. 18. Eje montado sobre bogie

3.8.1. TIPOPOLOGÍA DEL EJE MONTADO

En el diseño de los ejes montados depende de diferentes factores:

- El tipo de vehículo que estemos tratando (de tracción o de arrastre).
- La construcción del centro de la rueda.
- La posición de los rodamientos (interiores o exteriores).
- El sistema de frenado que estemos utilizando (zapata, disco sobre el eje o disco sobre la rueda).

Para dar cobertura a todas estas exigencias existen multitud de diseños de ejes montados. A pesar de ello todos tienen dos características comunes; la conexión rígida de las ruedas en el eje y el perfil de la superficie de rodadura de la rueda. Al describir las curvas, el radio del raíl exterior de la vía siempre es mayor que el del carril interno. Por ello una rueda cilíndrica se vería forzada a girar con una velocidad angular mayor sobre el carril exterior que sobre el interior. Dado que la velocidad angular de ambas ruedas (exterior e interior) es la misma, este movimiento no podría ocurrir por rodadura pura. Que tengan la misma velocidad angular, al ser solidarias al eje, significa que ambas ruedas realizan distancias de viaje similares, por tanto una de ellas o ambas deslizará, incrementando de esta manera la resistencia de rodadura y causando desgaste de ruedas y raíles. La solución planteada es la de utilizar ruedas con una superficie de rodadura de perfil cónico, conformado mediante operaciones de mecanizado, con un ángulo de inclinación γ variable con el eje del eje montado. Cuando el eje montado se encuentra situado exactamente en la posición central de los raíles, el punto de contacto marca una situación que determina el conocido como “tape-circle”, donde se mide el diámetro de la rueda. Para evitar el descarrilamiento el perfil cónico posee una pestaña situada en la parte interna de la rueda, que además sirve de guía para el vehículo una vez que las fuerzas de cortadura existentes entre rueda y carril superan la resistencia del contacto rueda-carril.

Vamos a ver una representación de los principales tipos de ejes montados:

- Wheelset con rodamientos externos e internos (Ilustración 3.19).
- Wheelset con discos sobre el eje y sobre la rueda (Ilustración 3.20).
- Wheelset con posición asimétrica y simétrica (Ilustración 3.21).

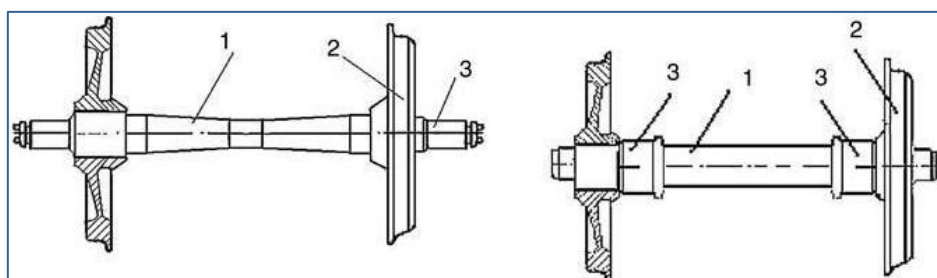


Ilustración 3. 19. Wheelset con rodamientos externos (izqda.) e internos (dcha.)

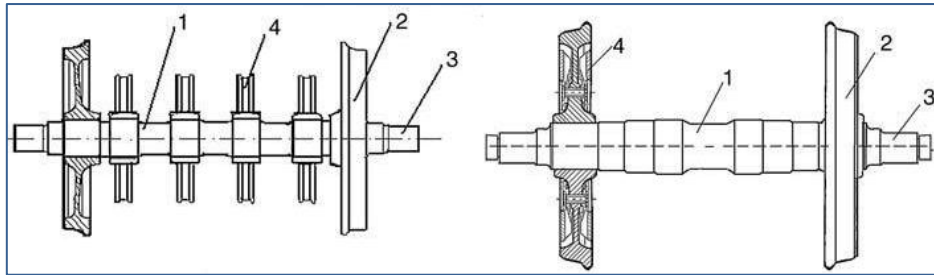


Ilustración 3. 20. Wheelset con discos sobre el eje (izqda.) y sobre la rueda (dcha.)

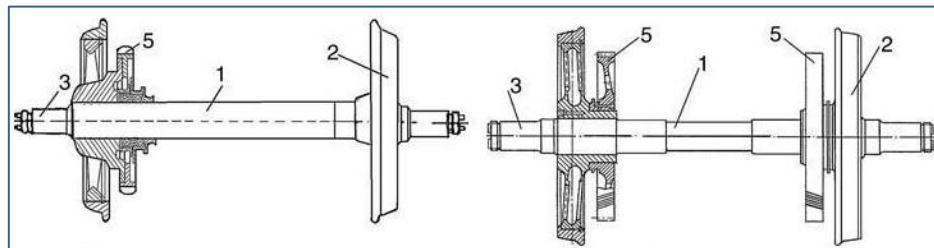


Ilustración 3. 21. Wheelset con posición asimétrica (izqda.) y simétrica (drcha.)

Un eje montado con perfiles cónicos puede moverse lateralmente en una curva de tal forma que la rueda exterior está rodando en una trayectoria de mayor radio (debido al ángulo de conicidad) que la interior (Ilustración 3.22). Se puede ver que para cada radio de la curva solo existe un valor de conicidad que elimina el deslizamiento. Como los diferentes ferrocarriles van variando los radios de curva con el tiempo, la forma de perfil de la rueda que proporciona mínimo deslizamiento depende de las características de la vía. Las administraciones ferroviarias normalmente especifican los perfiles de rueda permisibles para sus infraestructuras y el grado de desgaste permitido antes de que se requiera un repelido.

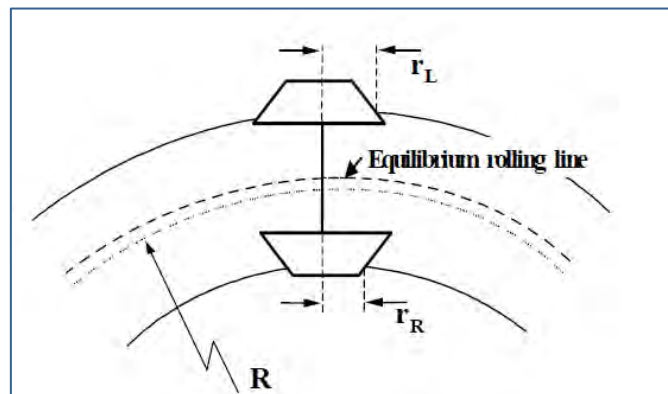


Ilustración 3. 22. Wheelset con ruedas de perfiles cónicos de rodadura

A pesar de la gran variedad de perfiles de rueda existen un número de características comunes. La anchura del perfil está comprendida normalmente entre 125 y 135 mm y la altura de la pestaña está entre 28 y 30 mm. El ángulo de inclinación de la pestaña está entre 65° y 70° . Alrededor del "tape-circle" la conicidad es 1:10 o 1:20 para material rodante común. Para material rodante de alta velocidad, la conicidad se reduce a 1:40 o 1:50 para prevenir el movimiento del lazo. Algunos perfiles modernos de rueda, particularmente para material rodante de pasajeros, no son cónicos pero se diseñan desde unas series de radios que aproximan la rueda a un perfil usado.

Con esto se intenta dar una forma estable y prevenir cambios significativos de conicidad que puede aparecer en ruedas cónicas con desgaste. Para perfiles cuya forma no sea puramente cónica, bien sea por diseño por desgaste, se le aplica el término equivalente de conicidad. Es el cociente de la diferencia de los radios de rodadura entre el doble del deslizamiento lateral del eje montado:

$$\gamma_{eq} = \frac{\Delta R}{2y}$$

Como la rueda se desgasta el perfil puede modificarse significativamente dependiendo de un gran número de factores como el perfil de curvatura del trazado, nivel de fuerzas de tracción y frenado aplicadas, forma del perfil medio del carril, régimen de lubricación y diseño de la suspensión. Cuando hay un desgaste extremo puede incrementar el peligro de descarrilamiento, sobre todo en cruces. Normalmente se realizan reperfilados a su forma de diseño periódicamente, sin necesidad de desmontar el eje del vehículo.

Está claro que el contacto entre los perfiles de la rueda y el carril puede verse modificado dependiendo del nivel de desgaste existente, pudiendo haber un único punto de contacto, dos puntos de contacto o una superficie de contacto (Ilustración 3.23).

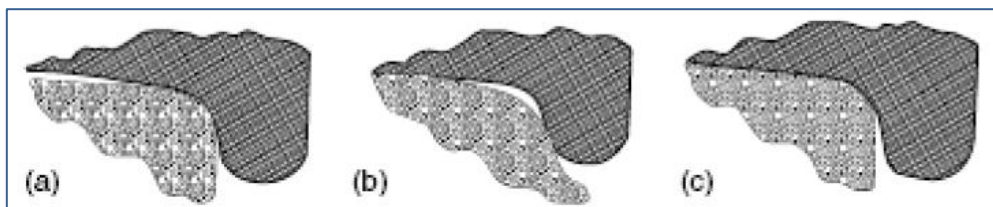


Ilustración 3. 23. Contacto entre perfil de rueda y rail: (a) un punto, (b) dos puntos y (c) una superficie

3.8.2. EJE FERROVIARIO

En primer lugar vamos a introducir el concepto genérico de eje para luego centrarnos en el eje ferroviario.

Un eje es un elemento de máquina con geometría generalmente axilsimétrica que sirve de soporte para otros órganos, los cuales pueden girar u oscilar alrededor de éste (Ilustración 3.24). Dichos órganos pueden ser de muy diversos tipos, como ruedas dentadas, tambores, poleas de un sistema de transmisión, rodets, etc. Un eje puede encontrarse en reposo mientras giran los elementos de máquinas que sustenta (eje fijo) o por el contrario, puede girar solidariamente con dichos elementos (eje móvil).

Los ejes de un vehículo son componentes del mecanismo del mismo. Mantienen la posición relativa de las ruedas entre sí y éstas respecto al chasis del vehículo. En la mayoría de los vehículos las ruedas son la única parte que toca el suelo y los ejes deben soportar el peso del vehículo así como cualquier carga adicional que éste transporte, junto con otros esfuerzos como las fuerzas de aceleración y frenado.

Además del objetivo de componente estructural, los ejes deben cumplir con una o más de las siguientes funciones dependiendo del diseño del vehículo:

- Transmisión: uno o más ejes deben formar parte del sistema de transmisión. Un sistema mecánico ejerce una fuerza descentrada sobre el eje que, con la reacción del

apoyo del eje, da lugar a un momento de fuerzas sobre el eje que es transferido hacia las ruedas para la aceleración del vehículo.

- Frenado: para disminuir la velocidad de un vehículo se aplica una fuerza descentrada de forma que, con la reacción del apoyo del eje, se forma un momento de fuerzas en sentido contrario a la rotación de la rueda.
- Guía: el eje de una rueda debe además guiar la rueda para que no se desplace axialmente, así como que no gire involuntariamente respecto a un eje perpendicular al eje de giro. El sistema de dirección controla el ángulo de guiado de las ruedas respecto al chasis, en la mayoría de los casos solo las del eje delantero.

El eje de un vehículo puede ser de dos tipos:

- Eje motriz: Un eje que recibe la potencia del motor se denomina también eje de propulsión, pertenece al sistema de transmisión del vehículo.
- Eje libre: Un eje libre es aquel que no forma parte del sistema de transmisión y gira libre. El eje trasero en un automóvil con tracción delantera se puede considerar como ejemplo de eje libre.

Ahora nos vamos a centrar en el eje ferroviario dado que es el que pertenece al ámbito de estudio del presente proyecto. Podemos describirlo mediante las siguientes definiciones:

1. Barra que atraviesa un cuerpo giratorio y le sirve de apoyo en el movimiento.
2. Elemento axial al que se aplica un par motor para producir el giro de una componente ajustable.
3. Pieza cilíndrica de acero sobre la que se montan las ruedas, las cajas de grasa y los elementos terminales de la transmisión de un vehículo ferroviario, donde el número de ejes suele ser de dos o tres.

Las dimensiones del eje que utilizamos para el desarrollo de este proyecto serán descritas en uno de los anexos. Brevemente podemos decir que tiene 2480 mm de longitud y los diámetros de sus secciones transversales máximas y mínimas son 214 mm y 130 mm respectivamente.



Ilustración 3. 24. Ejes ferroviarios

Dentro del eje ferroviario se pueden apreciar tres partes bien diferenciadas (Ilustración 3.25):

- Fuste o cuerpo del eje: comprendido entre ambas ruedas.
- Sección de calaje: sobre la que se calzan las ruedas.
- Manguetas: sobre la superficie de las mismas reposan los cojinetes de las cajas de grasa, que a su vez soportan el peso suspendido del vehículo.

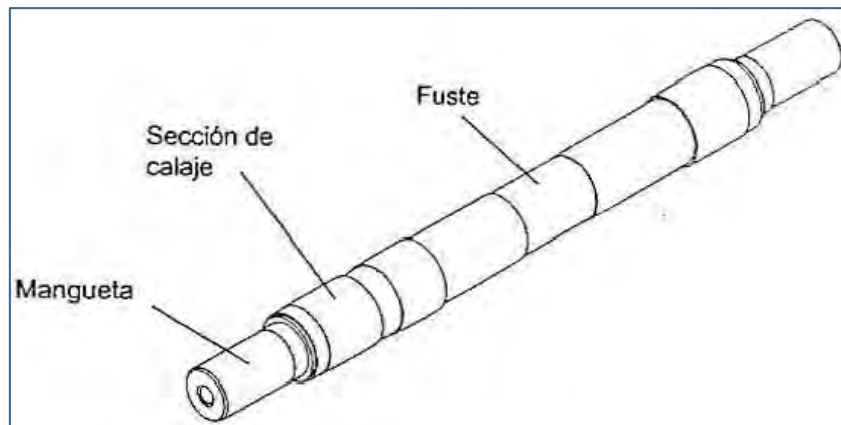


Ilustración 3. 25. Partes de un eje ferroviario

3.8.3. PROCESO DE FABRICACIÓN DE UN EJE FERROVIARIO

Previo al proceso de fabricación se ha de realizar una fase de diseño que tenga en cuenta las exigencias a las que va a estar sometido el eje posteriormente, operando en unas determinadas condiciones de servicio.

El eje tendrá diferentes dimensiones en cada sección dependiendo de la carga a la que se encuentra sometida cada una de ellas. Es un elemento que está sometido a dos grandes exigencias mecánicas: el esfuerzo cortante del apoyo de la rueda y la alternancia de flexiones en la sección de empotramiento. La problemática de la fatiga en los ejes ferroviarios ha hecho que se redacten normativas para el diseño específico de estos (UNE-EN 13103). Así pues, el proceso sería el siguiente:

- Identificar las fuerzas y llevar a cabo el análisis de los momentos en las diversas secciones.
- Diseñar las dimensiones de cada sección del cuerpo y manguetas especificando el diámetro de cada uno.
- Comparar la tensión calculada con la tensión máxima admisible, en función del acero y del tipo de eje, sea este macizo o hueco.

Proceso de fabricación:

Los ejes rectos de hasta 150 mm de diámetro se obtienen generalmente de perfiles redondos torneados, descortezados o estirados en frío, y los de diámetros superiores se obtienen de piezas forjadas por mecanización mediante el arranque de viruta.

Los gorriones (también llamados muñones, son la parte del eje que giran en contacto con el correspondiente apoyo) y escalones se terminan, según las exigencias, con un torneado de precisión, rectificado, pulido a presión, prensado o lapeado (Ilustración 3.26).

Cuando han de estar sometidos a esfuerzos elevados reciben un temple superficial (el núcleo debe permanecer blando) y un proceso de rectificación muy preciso para mejorar las prestaciones.

Las principales operaciones de mecanización que se llevan a cabo en la creación de un eje son:

- Enderezado de la pieza en bruto antes del desbaste en torno. El enderezado debe repetirse, si es necesario, después de otras fases de mecanizado.
- Tratamiento térmico (endurecimiento superficial, revenido, bonificado).
- Fase de control.
- Acabado superficial (rectificado, equilibrado y afinado).



Ilustración 3. 26. Proceso de mecanizado de un eje ferroviario

Tras esta fase de mecanización, la pieza pasaría el respectivo control de verificación. Tal cantidad de operaciones tiene como fin principal asegurar un perfecto estado del eje en el momento de instalación en el equipo. Por normativa, los ejes muy revolucionados (a partir de 1500 r.p.m.) deben ser rígidos, tener apoyos fijos (usando topes laterales en los cojinetes, anillos de retención, etc.) y estar equilibrados.

Materiales utilizados para los ejes:

El material más utilizado para este tipo de piezas es el acero estructural:

- **Composición:** Es un acero producto de la aleación de hierro, carbono y pequeñas cantidades de otros elementos tales como silicio, fósforo, azufre y oxígeno, que le aportan características específicas. El acero laminado en caliente, fabricado con fines estructurales, se denomina como acero estructural al carbono, con límite de fluencia de 250MPa.
- **Propiedades:** Alta resistencia, calidad homogénea, fiabilidad, soldabilidad, ductilidad, incombustibilidad. A altas temperaturas sus propiedades mecánicas fundamentales se ven gravemente afectadas. Posee una buena resistencia a la corrosión en condiciones normales. El acero es más o menos un material elástico, responde teóricamente igual a la compresión y a la tensión, sin embargo con suficiente fuerza aplicada, puede comenzar a comportarse como un material plástico. Sin embargo en ocasiones la fase plástica es útil y da un plazo de tiempo para ser sustituida y evitar así el colapso total de la pieza.

Para aplicaciones de responsabilidad, se opta por mejorar el acero estructural simple mediante una serie de procesos de refinado. De esta forma, los ejes se construyen de aceros DIN St42 o DIN St50, y los que están sometidos a elevados esfuerzos, de DIN St60. El empleo de aceros aleados, cuando existen esfuerzos oscilantes (flexión alternativa), solamente es ventajoso si no existen efectos de entalladura, ya que los aceros de alta resistencia son sumamente sensibles a este tipo de esfuerzos. A su vez, los ejes contruidos de aceros aleados de alta resistencia, no son más rígidos que los fabricados de aceros de construcción en general, ya que ambos tipos de material tienen igual módulo de elasticidad.

Geometría del eje:

Generalmente los ejes adoptan una sección tal para que las tensiones sean aproximadamente uniformes a lo largo de su longitud. Por ello, en diferentes tramos existen diámetros distintos, siendo extraña la forma cilíndrica en toda su longitud. Los esfuerzos de flexión alternativos de los ejes giratorios, traen consigo el peligro de rotura por fatiga (efectos de entalladura) en todas las transiciones de sección, rebajes, ranuras, etc. Las puntas de tensión pueden eliminarse adoptando diversas precauciones durante el diseño, como puede ser suavizando los cambios de sección.

Existen dos tipos de ejes: macizos y huecos. La diferencia entre ambos es que el eje hueco cuenta con un orificio longitudinal de extremo a extremo de la pieza. Mediante esta reducción de material podemos conseguir que la pieza pese un 20% menos que la original pero conservando un asombroso 90% del momento resistente de la pieza maciza. (Valores procedentes de un estudio con eje hueco de diámetro de agujero 05, veces el diámetro original).

3.8.4. NORMATIVA DE EJES FERROVIARIOS

La normativa necesaria para poder diseñar y fabricar correctamente un eje ferroviario se divide en tres grandes grupos y conlleva el siguiente orden:

1. Normativa para la fase de diseño.
2. Normativa para la comprobación de características del material.
3. Normativa para la fase de montaje.

1. Normativa para la fase de diseño: En la fase de diseño deben seguirse los pasos de las normas EN 13103 y EN 13104. Por tanto, primero deben definirse las fuerzas del sistema tanto las generadas por masas en movimientos como las provocadas por los efectos de tracción y frenado, a continuación seleccionarse los diámetros correspondientes al cuerpo del eje y las manguetas (Ilustración 3.27), e inmediatamente después los del resto de secciones, y una vez hecho esto se deben verificar los resultados obtenidos a través del cálculo de esfuerzos para cada sección del eje y la comparación con los esfuerzos máximos permitidos en función de la calidad del acero a emplear y de si el eje es macizo o hueco.

2. Normativa para la comprobación de características del material: En esta segunda fase se procede a evaluar el material a utilizar a través de probetas normalizadas en las normativas EN 13260 y 13261. Se comienza comprobando el ensayo a fatiga explicado en la normativa EN 13261, utilizando el método de la escalera de la NF A 03-405. Tras esto se realiza el estudio definido en la NF A 03-404, comprobando que los resultados son satisfactorios. A continuación se realiza el estudio de resistencia a fractura definido en la normativa EN ISO 12737, y tras comprobar este apartado se finaliza con el ensayo de resistencia a corrosión perteneciente a la normativa ISO 9227, que consiste en hallar la ecuación de pérdida de masa frente a tiempo de exposición de pulverización salina. Una vez acabado este proceso se comparan los resultados obtenidos con la recomendación realizada en la normativa EN 13261 para dar por apto todo este proceso.



Ilustración 3. 27. Pruebas de verificación de medida para eje ferroviario

3. Normativa para la fase montaje: En este último paso se siguen las normativas de la fase de montaje pertenecientes a las normativas EN 13260 y EN 13261, con el siguiente orden: primero se comprueba el acabado superficial y la protección a corrosión que necesita cumplir el eje fabricado, lo siguiente es verificar que se cumplen las características de montaje necesarias dictadas por estas normativas, después se realizan los procedimientos de cualificación comprobando que el elemento fabricado posee las mismas características y por tanto la misma resistencia que las probetas utilizadas en las fases anteriores, y por último se definen y se llevan a cabo las condiciones de entrega, que consiste en un muestreo de lotes comprobando que no existen errores de fabricación en los elementos obtenidos, y un aseguramiento de la calidad, de la forma nombrada en las normativas antes citadas.

Una vez cumplimentadas todas estas fases puede afirmarse que el eje ferroviario es apto para cumplir su cometido y puede comenzar a utilizarse sin riesgo alguno.

3.8.5. RUEDA FERROVIARIA

La rueda es junto con el eje uno de los elementos más importantes del material rodante ferroviario. Puesto que se encuentran sometidas a cargas de carácter mecánico y térmico, han de ser fiables hasta el extremo, sabiendo que cualquier fallo mecánico o error en sus dimensiones podría causar el descarrilamiento del tren con las consecuencias que de ello se derivan. Hoy en día debido a la existencia de trenes de alta velocidad cuya exigencia es mayor, hemos de tener en cuenta más que nunca las condiciones de seguridad de estos elementos mecánicos.

Los trenes se desplazan mayoritariamente sobre ruedas de acero rodado sobre un carril de acero. La misión principal de las ruedas es por tanto sustentar al vehículo, guiarlo y por último transmitir los esfuerzos de tracción y frenado al carril. Estas funciones son las que generan cargas mecánicas y térmicas en las ruedas.

Las ruedas han de estar perfectamente equilibradas, dado que una situación de desequilibrio, desencadenaría una acción vibratoria correspondiente a la masa desequilibrada que llegaría a deformar la superficie de la llanta, produciendo en el cuerpo del vehículo vibraciones o movimientos de pequeña amplitud y frecuencias medias, muy molestos en el caso de transporte de viajeros.

Se realizarán inspecciones periódicas, con el fin de garantizar la seguridad de las ruedas, determinar la posible existencia de fisuras, grietas o defecto en la superficie de rodadura que puedan generar en última instancia un descarrilamiento del tren.

La rueda consta de las siguientes partes principales (Ilustración 3.28):

1. Pestaña: Aro saliente situado en el borde de la llanta de un vehículo ferroviario, cuya función es la de evitar el descarrilamiento.
2. Superficie de Rodadura: área de contacto que se genera entre llanta y carril, es la parte que rueda sobre el raíl.
3. Llanta: Es la corona circular metálica, que calada sobre el núcleo, constituye el volumen de la superficie de rodadura sobre el carril.

4. Velo: Es la corona metálica que une la llanta con el cubo.
5. Cubo: Es el elemento mecánico que establece la unión de la rueda y el eje.
6. Límite Máximo de Desgaste: Es el límite hasta el cual se puede realizar el reperfilado de la rueda en condiciones de seguridad.
7. Alojamiento de Calado: Dispositivo mediante el cual se introduce aceite a presión para el calado de la rueda y el eje.

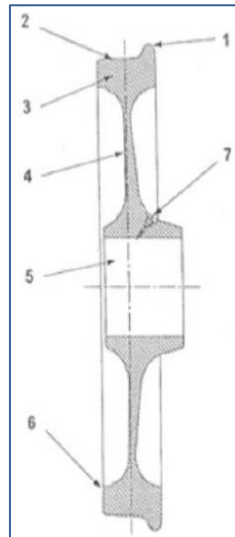


Ilustración 3. 28. Partes de la rueda

Clasificación de las ruedas ferroviarias:

- Rueda monobloque: formadas por llanta, velo y cubo. La llanta y el velo se encuentran conectadas a través de un radio de acuerdo, de manera que constituyen una misma unidad (Ilustración 3.29).

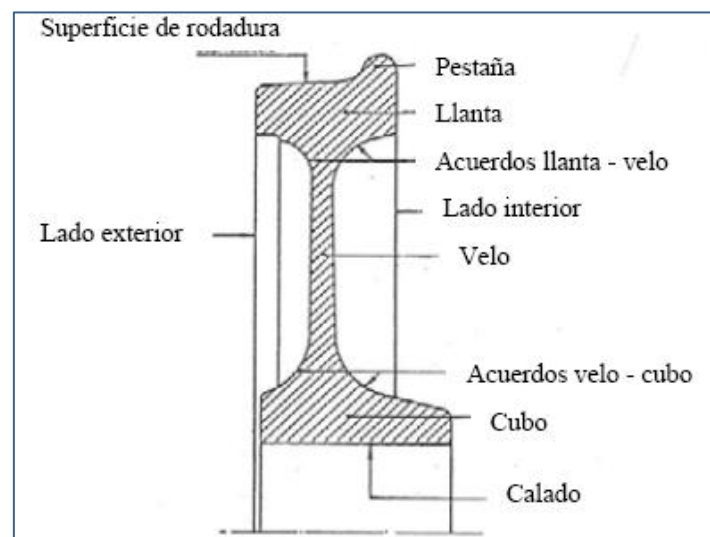


Ilustración 3. 29. Rueda monobloque

- Rueda con llanta: La llanta se une al velo a través de un aro metálico llamado cincho, con calado en caliente (Ilustración 3.30). En este caso es posible cambiar la llanta conservando el velo y el cubo.

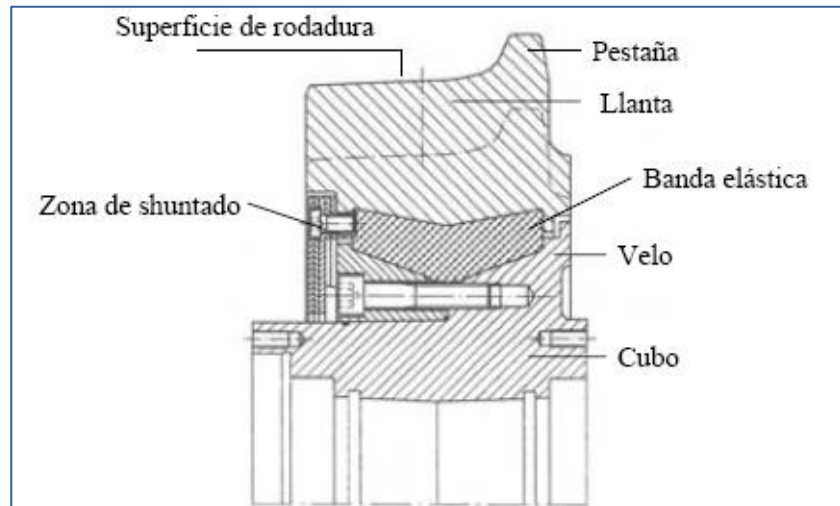


Ilustración 3. 30. Rueda con llanta

- Rueda elástica: Al igual que las ruedas con llanta, las ruedas ensambladas permiten sustituir la llanta conservando el velo y el cubo (Ilustración 3.31). La llanta se une al velo a través de una banda de goma. Esta banda absorbe golpes, ruidos y vibraciones y es muy usada en las ruedas de los tranvías y metros ligeros.

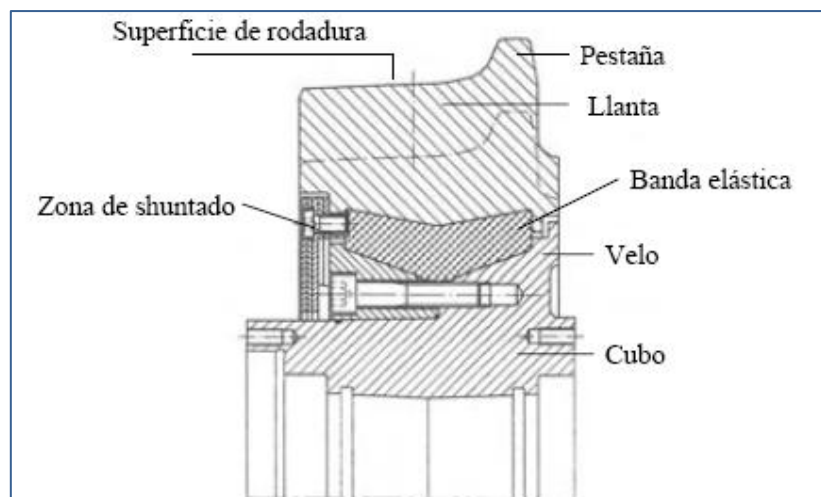


Ilustración 3. 31. Rueda elástica

3.8.6. PROCESO DE FABRICACIÓN DE UNA RUEDA FERROVIARIA

El mercado ferroviario actual demanda una fabricación de ruedas de alta calidad, con una amplia vida de servicio y unas tolerancias muy ajustadas. Para cumplir estas expectativas de demanda y a la vez tener rentabilidad a la hora de producir se ha de realizar una potente inversión en tecnología y maquinaria.

Unido a la demanda de calidad se encuentra la existencia de trenes de alta velocidad, que plantean dos aspectos fundamentales en los que basar los criterios de producción, minimizar el consumo energético y maximizar el confort de los pasajeros. Con el fin de responder a estas exigencias se debe controlar el peso del material rodante ferroviario, reduciéndolo en la medida de lo posible y teniendo en cuenta que esto implicará una mayor carga para los materiales, que soportarán mayores tensiones debido a mayores cargas radiales y laterales en las ruedas, y aumentando también las cargas térmicas. Por ello debemos incrementar la resistencia de los materiales utilizados.

Las ruedas de acero que son las que comprenden nuestro marco de estudio pueden ser conformadas mediante dos métodos: por forja, método más utilizado en Europa o por colada, que está más extendido en Estados Unidos. Además las llantas de las ruedas suelen ser sometidas a procesos de temple y revenido, no siendo así el caso del cubo y el velo que se suelen dejar en estado normalizado. Se han realizado estudios comparativos entre ruedas forjadas y ruedas coladas que muestran con bastante diferencia, un mejor comportamiento las ruedas forjadas en cuanto a la tenacidad de fractura se refiere. Por tanto, las ruedas forjadas ofrecen una máxima seguridad siendo óptimas para su aplicación en trenes de pasajeros de alta velocidad. Cabe destacar también que el tratamiento de la llanta de la rueda tiene influencia a la hora de evitar el desarrollo y la propagación de fisuras térmicas, afectando por otra parte la forma de la rueda en la distribución de tensiones y en la estabilidad sobre el ancho del carril.

Forjado en blanco:

El material de partida son bloques a partir lingotes o barras de material continuo. Es necesario un estricto control del peso de los bloques, pues la masa de los bloques es un parámetro fundamental para la obtención de una rueda que cumpla las especificaciones de diseño.

Primero se cortan los bloques de material para luego ser calentados hasta la temperatura de forja en el horno rotatorio. Una vez calentados los bloques, se llevan fuera del horno y se les somete a agua a alta presión para limpiar impurezas. Luego se pesan y son sometidos a dos operaciones de forja, pasando así la rueda a llamarse rueda en blanco.

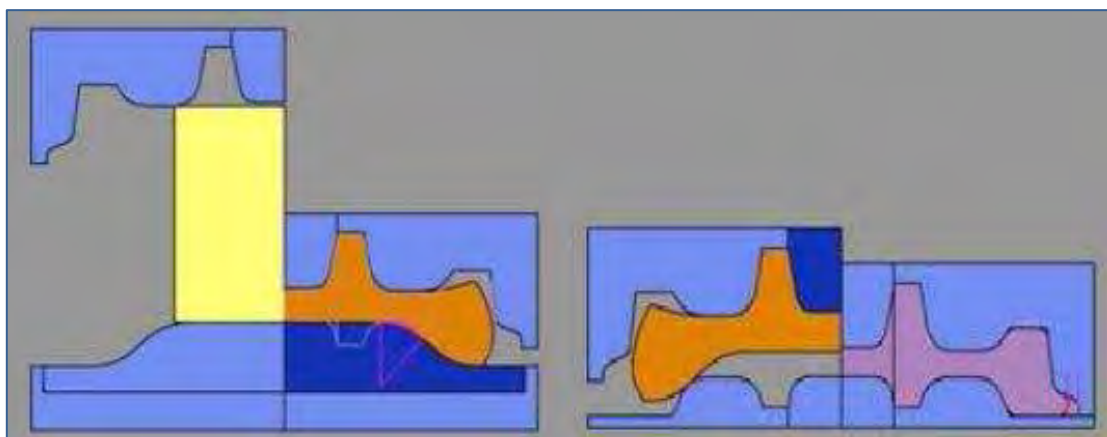


Ilustración 3. 32. Forjado en blanco de rueda, preforma con la presión de 50 MN (naranja) a la de 90 MN (rosa)

Una vez realizada la operación de limpieza un manipulador sitúa el bloque en la primera prensa hidráulica de 50 MN y le aplica presión (Ilustración 3.32). Luego el bloque es centrado con el dispositivo de centrado que está incorporado en la prensa.

En esta operación se consigue una aproximación del perfil final de la rueda. El manipulador se encarga de llevar la rueda en blanco de la prensa de 50 MN a la de 90 MN, para luego realizar la perforación de la parte central de la rueda mediante un cilindro penetrante (Ilustración 3.33).



Ilustración 3. 33. Preforma final en la prensa de 90MN y detalle de la rueda con el perfil final aproximado

Una vez tenemos la preforma final, el manipulador de carga realiza un amarre de la preforma por las partes laterales para introducirlo en la máquina de conformado de rodillos, estando la rueda en posición vertical.

Conformado:

La máquina de conformado, es un laminador que posee gran flexibilidad para el ajuste de todas las herramientas (Ilustración 3.34). El proceso de conformado de la rueda preformada aún caliente por medio de los rodillos de laminación se va a realizar en 3 pasos, utilizando diferentes tipos de rodillos en cada etapa.

Tras situar la rueda en la máquina de conformado los rodillos de centrado colocan la rueda en la posición de conformado, una vez centrada los rodillos encargados de conformar el velo se acercan, se sitúan sobre la rueda. Esta es la primera etapa en la fase de conformado, en la que no se ejerce ninguna presión sobre la preforma.

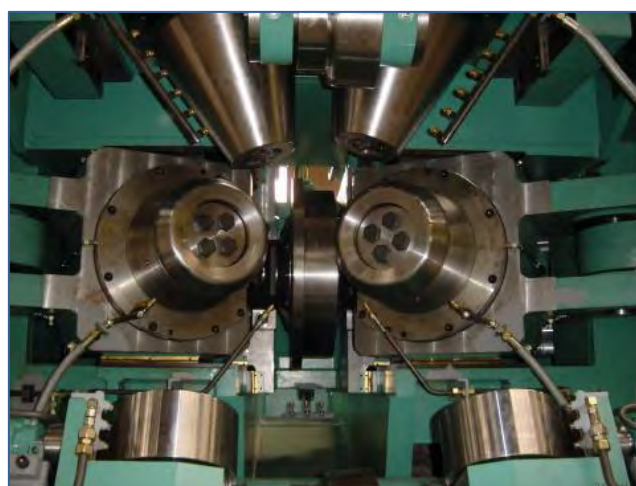


Ilustración 3. 34. Rodillos de laminación de la máquina de conformado

El siguiente paso consiste en realizar la operaciones de laminado, para ello los rodillos de velo aplican presión sobre la preforma. Al mismo tiempo los rodillos laterales conforman el material, son los rodillos de llanta. Esta será la tercera etapa del proceso.

La distancia entre los rodillos del velo, llamada espesor relativo del velo, es controlada durante la ejecución del conformado y depende del crecimiento del diámetro de la rueda, laminando así los rodillos la forma del velo deseada. La altura de la llanta la conseguiremos mediante la mencionada tercera etapa, por medio del ajuste de los rodillos laterales.

De esta forma se realiza el conformado de la rueda hasta que se alcanza la forma final de la misma. El proceso es monitorizado en todo momento a través de los ajustes de las herramientas utilizadas



Ilustración 3.35. Proceso de conformado de la rueda

Durante el proceso, los rodillos hacen fluir material desde la llanta hacia el velo, generándose tensiones de compresión en la dirección del conformado (Ilustración 3.35). Estas tensiones son favorables debido a que mejoran las propiedades mecánicas de las ruedas.

Un poco antes de la búsqueda del diámetro final de la pieza se inicia una fase de calibrado automático, por reducción de las velocidades ajustadas. Así se consigue la rueda final con una total precisión en su reproducción.

Las fuerzas de conformado se generan de forma hidráulica. Con dispositivos como válvulas supervisadas por regulación electrónica, se adaptan instantáneamente con mucha sensibilidad y precisión los movimientos y presiones de operación requeridos en el proceso de conformado.

Dispositivo de medida láser OD:

Para la detección precisa del diámetro de la rueda en cada momento del proceso de conformado, la máquina que realiza esta función está equipada con un sistema de medida de no contacto. Se trata de un dispositivo de medida láser, que está situado en un alojamiento protector en frente de la máquina.

Durante el proceso de conformado, las dimensiones se transmiten instantáneamente al sistema de control de la máquina y se transforman en señales para el proceso de control. Para una fácil supervisión del proceso de conformado, las dimensiones actuales y nominales de la rueda se reflejan claramente en un CRT en la cabina de control.

Control electrónico de la máquina de conformado:

Los dispositivos para el control de posición de la pieza, control de presión y ajuste de los rodillos, tienen en cuenta las velocidades de rodillos y pieza en cada momento. Las fuerzas y el par motor son monitorizados y si se alcanza algún límite de capacidad de la maquina, automáticamente se hacen los cambios necesarios para entrar en el rango permitido.

El software de control permite en arranque automático y el control del proceso por ordenador. Podemos destacar los criterios esenciales de los controles:

- El conformado de alta precisión se realiza optimizando la utilización de la maquina.
- Las secuencias del conformado se reproducen automáticamente según las especificaciones requeridas.
- La programación del conformado es realizada por un operario a través de un sistema de comunicación con teclado y CRT.
- Se asegura así la reproducción de la secuencia del conformado.

Deformación del velo:

Un manipulado toma las ruedas desde la zona de descarga de la máquina de conformado y las lleva a la parte inferior de la matriz de la prensa para la deformación del velo de la rueda (Ilustración 3.36). Aquí se le da al velo la forma de diseño especificada, cónica, ondulada, etc. Otro manipulador traslada la rueda desde la prensa de deformación del velo, hasta la máquina de marcado. Tras el marcado se lleva a una maquina de medida láser 3D.



Ilustración 3. 36. Proceso de deformación del velo

Control dimensional con máquina láser 3D:

Es un sistema de control óptico-electrónico, que consta de tres cabezales de medida basados en tecnología láser (Ilustración 3.37).

Se dispone en una mesa rotatoria de 360° para explorar todas las partes de la rueda. Las desviaciones de las medidas son reflejadas en un CRT en distintos colores y se gravan en un

archivo de documentación. A través de esta información se puede hacer variaciones en la línea de producción para evitar salirse de las especificaciones.



Ilustración 3. 37. Proceso control con máquina láser

Después de los análisis de medidas la rueda es llevada hasta las instalaciones de tratamiento térmico y mecanizado.

Tratamiento térmico:

El tratamiento de temple al que se somete la llanta consiste en calentar la rueda en un horno hasta los 827°C para eliminar las tensiones generadas durante el proceso de forjado. Luego se enfría la rueda 345 s. Al ser sometida la rueda a una temperatura superior a la de transformación de fase se produce una transformación de austenita a perlita durante el enfriamiento. Lo que da a la rueda su alta dureza es la microestructura perlítica.

En este punto la llanta se ha enfriado y se expande, mientras que el velo y el cubo siguen calientes y relativamente más blandos. La rueda se deja enfriar al aire durante aproximadamente 4 minutos para dejarla posteriormente en un horno a una temperatura de 480 °C durante dos horas, para aliviar algunas de las tensiones generadas durante el enfriamiento de la llanta. Durante este período el velo y el cubo se enfrían por debajo del punto de transformación y se contraen tirando de la llanta, que está más rígida. Este fenómeno induce tensiones residuales de compresión en la llanta. Finalmente la rueda se deja enfriar a temperatura ambiente durante aproximadamente 6 horas.

Como resultado tanto la parte inferior de la llanta como el velo quedan sometidos a tracción, mientras el resto de la llanta queda sometido a compresión. Las tensiones residuales a compresión impiden que se formen y crezcan fisuras, suponiendo un beneficio en la seguridad de la rueda.

El campo de tensiones residuales llega hasta una profundidad de 40 mm y al desgastarse y ser reperfilada la rueda pierde este campo de tensiones.

La sensibilidad al agrietamiento térmico aumenta con el contenido en carbono de la rueda. El problema es que si reducimos el contenido de carbono disminuye la dureza y la resistencia al desgaste, por lo tanto tenemos que compensarlo con aleantes.

Es por eso que es mejor modificar la microestructura para lograr un tamaño de grano más pequeño que aumentar el contenido de carbono en el acero, si se quieren mejorar las características de resistencia.

En la zona de la llanta las proporciones de ferrita son menores y así aumenta la dureza en dicha zona, todo lo contrario ocurre en la zona del velo y la pestaña.

Hasta una profundidad de 0,03 mm desde la superficie, la microestructura es una mezcla de ferrítica de carburo, con muchas microgrietas orientadas a ángulos entre 0° y 30° de longitudes aproximadas entre 0,015 y 0,025 mm. El ancho de las mismas varía entre 0,0002 y 0,0030 mm y la distancia entre ellas está entre 0,01 y 0,50 mm. La siguiente zona es la de transición al material base (aproximadamente 3 mm).

Para asegurar que no se producen defectos macroscópicos tras la fabricación, a petición de las empresas de trenes y mantenimiento de los mismos, todas las ruedas son inspeccionadas por el proveedor mediante la técnica de ultrasonidos.

En Europa las normas se suministran según la ficha UIC 812-3 (Tabla 3.1) “Especificación Técnica para el suministro de ruedas monobloque de acero no laminado para el material rodante motor y remolcado” en 8 calidades.

Tabla 3. 1. Ficha UIC 812-3

Calidad	Composición química (% máximo en peso)											Propiedades mecánicas		
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V	1+2 +3	R _m N/mm ²	A (%)	KU (J)
R1	0.48	0.50	0.90	0.035	0.035	0.30	0.30	0.08	0.30	0.05	0.05	600-702	12-18	15
R2	0.58	0.50	0.90	0.035	0.035	0.30	0.30	0.08	0.30	0.05	0.05	700-840	9-14	10
R3	0.70	0.50	0.90	0.035	0.035	0.30	0.30	0.08	0.30	0.05	0.05	800-940	7-10	10
R6	0.48	0.40	0.75	0.035	0.035	0.30	0.30	0.08	0.30	0.05	0.05	780-900	15	15
R7	0.52	0.40	0.80	0.035	0.035	0.30	0.30	0.08	0.30	0.05	0.05	820-940	14	15
R8	0.56	0.40	0.80	0.035	0.035	0.30	0.30	0.08	0.30	0.05	0.05	860-980	13	15
R9	0.60	0.40	0.80	0.035	0.035	0.30	0.30	0.08	0.30	0.05	0.05	900-1050	12	10

1+2+3: Cr+Mo+Ni

La ficha UIC 812-3 estuvo en vigor hasta Agosto de 2006, siendo luego sustituida por la norma UNE-EN 13262 “Aplicaciones ferroviarias. Ejes montados y bogies. Ruedas. Requisitos de producto”.

Solicitaciones a las que están sometidas las ruedas:

Tanto las fuerzas de carga como las de guiado que deben soportar las ruedas durante su vida de servicio, hacen que las ruedas se vean sometidas a grandes solicitaciones. La banda de rodadura es la parte que más sufre, soportando mayores esfuerzos aquellas ruedas que sean motrices o en las que se aplican los frenos, apareciendo en ellas esfuerzos por deslizamiento y esfuerzos térmicos.

La clasificación de las solicitaciones a las que se somete a las ruedas puede hacerse desde el punto de vista del tiempo transcurrido en el que se manifiesta o desde el punto de vista del origen de los esfuerzos.

Clasificación según el punto de vista del espacio de tiempo en el que se manifiestan las solicitaciones:

- Solicitaciones Constantes o de variación lenta en el tiempo: Son las tensiones residuales que aparecen durante las operaciones de fabricación, durante el calado de ruedas y ejes. También son las tensiones permanentes que aparecen en las operaciones de frenado.
- Solicitaciones Intermitentes en el tiempo: Son las tensiones que se deben a la existencia de gradientes térmicos en la rueda.
- Solicitaciones Cíclicas: Se producen en la zona de contacto rueda-carril y son tensiones ligadas a la rodadura, debidas a cargas verticales, tracción y pseudodeslizamiento. En la zona de contacto rueda-carril se puede producir deformación plástica a pesar de que las cargas no sean muy elevadas. Tras los primeros ciclos de cargas se introducen tensiones residuales. El material además se endurece, debido a estos esfuerzos.

Clasificación según el punto de vista del origen de los esfuerzos:

- Solicitaciones Térmicas: Provocadas por las frenadas y por los esfuerzos motores o retardadores cuando se produce deslizamiento ligado a pérdida de adherencia en el contacto rueda-carril. Estas solicitaciones afectan sobre todo a las capas superficiales, pudiendo llegar a producir transformaciones metalúrgicas en el acero (templado de las zonas que han patinado). Frenadas intensas o anormales pueden crear tensiones que pueden sobrepasar en ciertas zonas el límite elástico del material y provocar una modificación del campo de tensiones residuales, pudiendo de esta forma favorecer el desarrollo de grietas en profundidad.
- Solicitaciones Mecánicas: Tanto la sustentación como el guiado producen solicitaciones mecánicas que se resumen en un esfuerzo vertical aplicado sobre la superficie de la banda de rodadura y una fuerza lateral sobre la pestaña de la rueda. Las fuerzas horizontales y transversales de rodadura se componen de una parte casi estática (variación muy lenta) y una parte dinámica. Con una alineación exacta de los ejes, las fuerzas transversales podrían excluirse, excepto a lo que se refiere a fuerzas centrífugas y gravitatorias.

Estas solicitaciones dependen de: diseño del bogie, (principalmente diámetro y tipo de rueda, carga por eje, valor de la masa no suspendida, características de la suspensión y de los sistemas de frenado y guiado), condiciones de utilización (velocidad, carga y naturaleza de los trenes) y condiciones de acoplamiento rueda-carril (perfiles de la rueda y del carril).

El aumento de las velocidades de los trenes ha llevado consigo un aumento de las fuerzas dinámicas, incrementándose los pares de aceleración y frenado.

Todas estas solicitaciones pueden verse agravadas por los defectos de fabricación, ovalización, diferencias de diámetro entre ruedas de un mismo eje, etc.

El coste de mantenimiento de las ruedas supone un alto porcentaje del mantenimiento total de un tren, por lo tanto hay que intentar disminuir este coste mediante la reducción de las cargas dinámicas que soportan las ruedas, evitando así el deterioro y fractura de los componentes el vehículo y la vía, reduciendo las vibraciones y el ruido.





CAPÍTULO 4

Complementos Teóricos



4.1. CONTACTO RUEDA - RAÍL

4.1.1. INTRODUCCIÓN

Durante más de 150 años, el sistema de contacto rueda - raíl ha suministrado un modo de transporte relativamente seguro. Este nivel de seguridad es tan alto que el mecanismo es generalmente despreciable y considerado como un simple “deslizador” para la mayoría de la gente.

Sin embargo, el punto de vista del ingeniero puede ser diferente, especialmente cuando tenemos en cuenta responsabilidades en una red ferroviaria. El contacto rueda - raíl es en realidad una unión compleja e imperfecta. En primer lugar, es un punto de alta concentración de tensiones. La forma cónica de la rueda hace que el juego de ruedas se comporte como un amplificador mecánico, limitado por el juego transversal, con superficies parcialmente deslizantes. Las superficies de contacto son similares las de un cojinete o rodamiento de rodillos pero sin protección frente a polvo, lluvia, arena o incluso piedras de balasto.

El balasto es según la definición del diccionario de la RAE: la “capa de grava o de piedra machacada, que se tiende sobre la explanación de los ferrocarriles para asentar y sujetar sobre ella las traviesas”.

El balasto proporciona por tanto, una superficie de sustentación a la vía soportando las cargas de los trenes que se transmiten a través de las traviesas, distribuyendo así la presión para evitar que el subsuelo se dañe, con el posible consecuente daño de los elementos que constituyen el trazado ferroviario (Ilustración 4.1). Su grosor va en función de la frecuencia y tipo de tráfico que soporta la vía. Es una superficie sólida pero a la vez ofrece cierta elasticidad absorbiendo las vibraciones generadas al paso de los trenes (Ilustración 4.2). Otra función importante es la de proporcionar el drenaje adecuado a la infraestructura (Ilustración 4.3); en subsuelos blandos se sitúa una capa de arena bajo el mismo.



Ilustración 4. 1. Vía situada sobre el balasto, en el cual se encuentran embebidas las traviesas

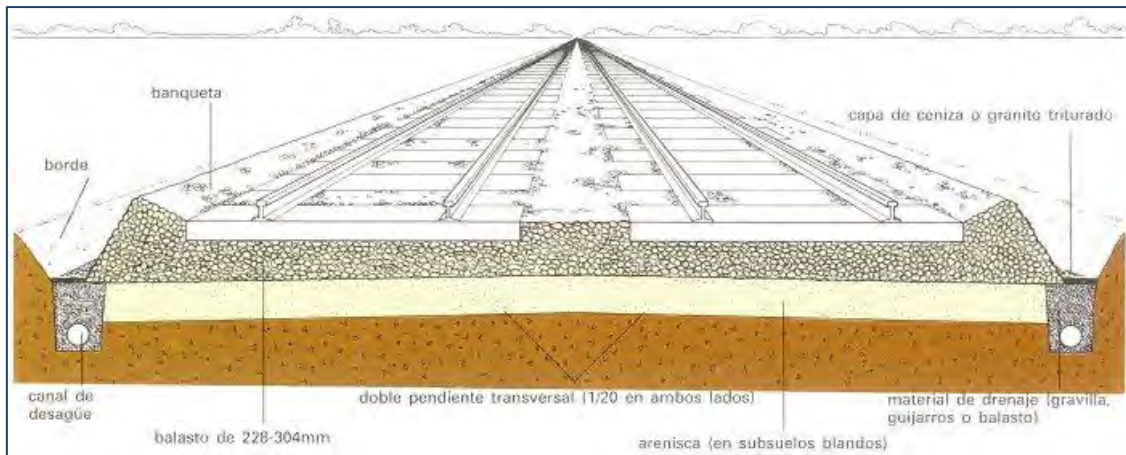


Ilustración 4. 2. Sección transversal de una vía y los elementos que la componen, entre ellos el balasto



Ilustración 4. 3. Áridos del balasto, obtenidos mediante la trituración de rocas de cantería

Observando con más atención, la seguridad ferroviaria puede mantener unos altos estándares si se toman ciertas precauciones. El objetivo de este apartado es el de suministrar una base para el entendimiento y la evaluación del contacto rueda - raíl.

Históricamente, el primer modelo teórico de la fuerza de contacto longitudinal rueda - raíl es el formulado por Carter (EE.UU.), más recientemente Johnson (Reino Unido), y Kalker (Países Bajos), conforman la base para una descripción precisa.

En paralelo, los desarrolladores de software dinámico decidieron modelizar el contacto rueda - raíl con, en principio, una conicidad limitada por los dos resortes de contacto de la brida. La conicidad variable fue entonces tenida en cuenta debido al efecto del giro y los saltos en el contacto debido a la combinación de perfiles. Estos saltos son la mayor dificultad en el cálculo de las fuerzas rueda - raíl y a su vez es un paso principal hacia la descripción del contacto no Hertziano. Sin embargo, el primer paso en el estudio del contacto rueda - raíl es considerar una modelización Hertziana comenzando por un simple modelo de juego de ruedas. Esta última modelización es la que vamos a tener en cuenta como base de estudio para el presente proyecto.

4.1.2. MODELO BÁSICO DE UN JUEGO DE RUEDAS, GRADOS DE LIBERTAD

El trazado es considerado rígido, por lo tanto el juego de ruedas tiene dos principales grados de libertad:

- El desplazamiento lateral, o traslación, y
- El ángulo de guiñada, α

Cuando el comportamiento de un juego de ruedas es inestable, la combinación dinámica de estos dos grados de libertad es conocida como “hunting”. El desplazamiento lateral y el ángulo de guiñada deben ser considerados como dos pequeños desplazamientos relativos al trazado. El juego será el límite del desplazamiento lateral entre los dos contactos de borde. De forma general es de unos ± 8 mm.

Los otros grados de libertad están restringidos: el desplazamiento a lo largo del eje x y la velocidad de rotación alrededor del eje y , ω , son determinadas mediante la velocidad longitudinal V_x y el radio de rodaje de la rueda r_0 con: $V_x = \omega \cdot r_0$. La altura del centro de gravedad z y el ángulo de balanceo alrededor del eje x están unidos a los raíles cuando hay contacto en ambos raíles.

El juego de ruedas ferroviario se define básicamente por dos ruedas cónicas, casi cilíndricas unidas mediante un eje rígido (Ilustración 4.4). Cada rueda está equipada con un reborde cuyo papel es el de evitar los descarrilamientos. En una línea recta los rebordes no están en contacto, pero la unión rígida entre ambas ruedas sugiere que el juego de ruedas ferroviario está diseñado para ir en línea recta, y se producirá el contacto de los rebordes o pestañas solo en las curvas. Esto es lo que conocemos como juego de ruedas ferroviario o “dicone”.

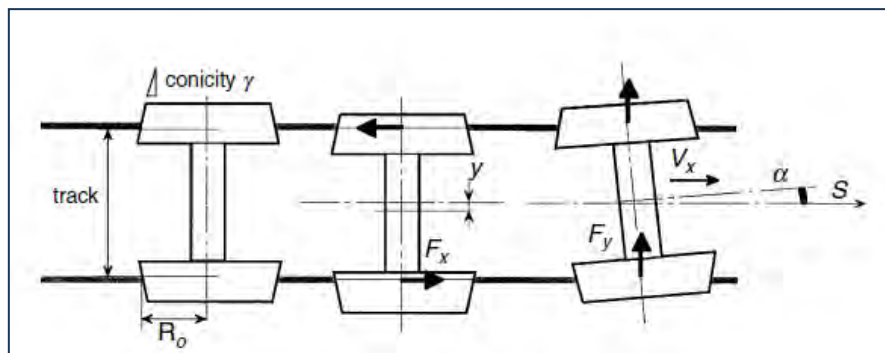


Ilustración 4. 4. Juego de ruedas situado sobre la vía ferroviaria desplazándose a velocidad V_x

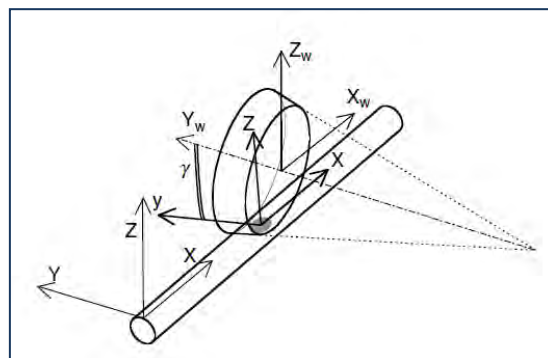


Ilustración 4. 5. Contacto rueda-raíl

El interfaz entre la rueda y el raíl es una pequeña área de contacto horizontal (Ilustración 4.5). La presión de contacto en esta pequeña superficie está más cercana a la concentración de tensiones que en el resto de los cuerpos. El centro de esta superficie es también el punto de aplicación de fuerzas tangenciales (tracción y frenado F_x , guiado y fuerzas parásitas F_y , ver figura 1.4). El conocimiento de estas fuerzas es necesario para determinar el equilibrio general del juego de ruedas y su comportamiento dinámico.

Para determinar este comportamiento y estas fuerzas, lo primero que debemos hacer es determinar ciertos parámetros de contacto: La superficie de contacto, la presión y las fuerzas tangenciales.

Para el objetivo de nuestro proyecto será suficiente con el cálculo del primero de estos tres parámetros, es decir, la superficie de contacto. Lo llevaremos a cabo basándonos en la teoría de Hertz en la que se estudia el “problema normal” en el contacto rueda - raíl.

4.1.3. EL CONTACTO NORMAL

El estudio del contacto entre cuerpos es posible hoy día por medio de métodos de elementos finitos. Sin embargo, la necesidad de rapidez de cálculo nos lleva a la utilización de métodos analíticos. Vamos a tratar por tanto en primer lugar el modelo Hertziano clásico, seguido de algunas consideraciones con el fin de acelerar el cálculo.

4.1.4. EL CONTACTO HERTZIANO

Hertz demostró que cuando dos cuerpos elásticos son presionados de forma conjunta bajo las siguientes condiciones:

- Comportamiento elástico.
- Espacios semi-infinitos.
- Grandes radios de curvatura comparados con el tamaño de la superficie de contacto.
- Curvaturas constantes dentro del área de contacto.

Entonces:

- La superficie de contacto es una elipse.
- La superficie de contacto es considerada plana.
- La presión de contacto es una semi-elipsoide.

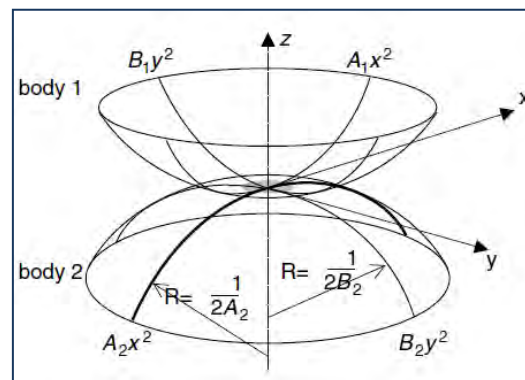


Ilustración 4. 6. Caso general del contacto Hertziano

Las principales curvaturas de los dos semi-espacios son necesarias para el cálculo de las dimensiones de la superficie y la distribución de presiones (Ilustración 4.6). En el caso de la vía ferroviaria, podemos considerar que las cuatro curvaturas principales se encuentran situadas en planos perpendiculares; sus direcciones corresponden a los ejes principales del plano XY.

Considerando los dos cuerpos elásticos en contacto, estos coincidirán en un único punto O donde la distancia normal entre ellos es mínima. Cerca de este punto de contacto O, sin carga, las formas superficiales de los cuerpos son representadas mediante polinomios de segundo orden:

$$\begin{aligned} z_1 &= A_1 x^2 + B_1 y^2 \\ z_2 &= A_2 x^2 + B_2 y^2 \end{aligned}$$

Los coeficientes $A_{1,2}$ y $B_{1,2}$ (Ilustración 4.7) se asumen como constantes en la región cercana al punto de contacto O, y se encuentran relacionadas con las principales curvaturas locales mediante las expresiones de la segunda derivada parcial, siendo la primera despreciable si se describe en el plano de contacto.

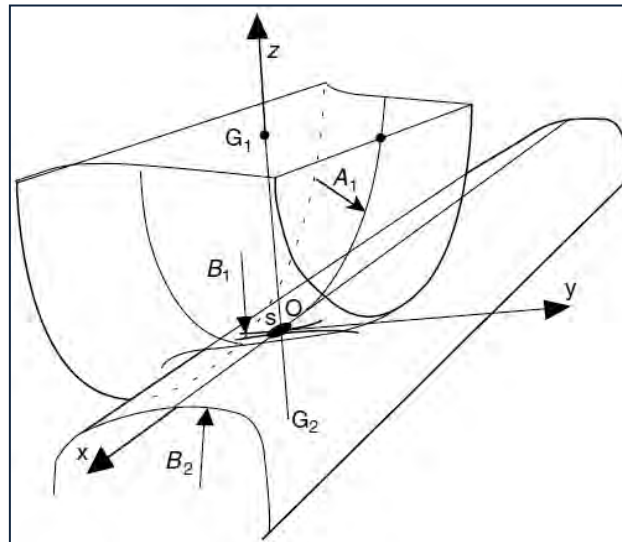


Ilustración 4. 7. SR centrado en O con ejes XYZ y coeficientes $A_{1,2}$ y $B_{1,2}$

Para el caso de vía ferroviaria, estas curvaturas y radios serán:

$$\begin{aligned} \text{Rueda:} \quad \frac{d^2 z_1}{dx^2} &= 2A_1 = \frac{1}{r_n} ; r_n = 650 \text{ mm} \\ \frac{d^2 z_1}{dy^2} &= 2B_1 = \frac{1}{R_{wx}} ; R_{wx} = 104,22 \text{ mm} \\ \text{Raíl:} \quad \frac{d^2 z_2}{dy^2} &= 2B_2 = \frac{1}{R_{rx}} ; R_{rx} = 305 \text{ mm} \end{aligned}$$

En el caso de la vía ferroviaria, la curvatura A_2 es generalmente despreciable debido a que el raíl es recto, por lo que su radio es infinito. B_1 y B_2 se deducen de los perfiles transversales, mientras que A_1 se obtiene a través de r_n , el radio normal de la rueda, deducido por sí mismo de r_0 , el radio de rodaje de la rueda.

1. Razón A/B, relación con b/a

Antes de situar la carga, la distancia vertical relativa entre dos cuerpos $d(x,y)$ puede ser definida como:

$$z_1 + z_2 = d = Ax^2 + By^2$$

con:

$$A = \frac{1}{2r_n} = \frac{1}{2 \cdot 650 \text{ mm}} ; B = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{R_{wx}} + \frac{1}{R_{rx}} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{104.22 \text{ mm}} + \frac{1}{305 \text{ mm}} \right)$$

A y B deben ser estrictamente positivas.

Convencionalmente, a es el semieje longitudinal de la elipse en la dirección Ox y b es el semieje transversal en la dirección Oy . Las relaciones A/B y b/a varían de la misma forma: si $A > B$, entonces $b > a$. La igualdad $A/B = 1$ implica una superficie de contacto circular $a = b$.

2. Cálculo de los semiejes

El cálculo tradicional se basa en la determinación de la relación entre los semiejes: $g < 1$, ($g=b/a$ o a/b) función de B/A por medio de la utilización de un parámetro intermedio, el ángulo θ definido como:

$$\cos\theta = \frac{|B - A|}{B + A} = 0.785; \theta = 38.75^\circ \approx 40^\circ$$

Los valores prácticos de los semiejes a y b, vienen dados por:

$$a = m \cdot \left(\frac{3}{2} \cdot N \cdot \frac{1 - U^2}{E} + \frac{1}{A + B} \right)^{1/3} = 10.325 \text{ mm}$$

$$b = n \cdot \left(\frac{3}{2} \cdot N \cdot \frac{1 - U^2}{E} + \frac{1}{A + B} \right)^{1/3} = 2.75 \text{ mm}$$

Donde:

$N = 123 \text{ kN}$; carga normalizada que se sitúa sobre cada mangueta

$E = 210 \cdot 10^9 \text{ Pa}$; módulo de Young

$U = \mu = 0.27$; coeficiente de Poisson

$m = 2.136$ y $n = 0.5673$; coeficientes de Hertz obtenidos de la siguiente tabla (Tabla 4.1)

Tabla 4. 1. Coeficientes de Hertz ($A/B < 1$)

θ°	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
$g = n/m$	1	0.7916	0.6225	0.4828	0.3652	0.2656	0.1806	0.1080	0.0470	0
m	1	1.128	1.285	1.486	1.754	2.136	2.731	3.816	6.612	∞
n	1	0.8927	0.8000	0.7171	0.6407	0.5673	0.4931	0.4122	0.3110	0
r	1	0.9932	0.9726	0.9376	0.8867	0.8177	0.7263	0.6038	0.4280	0

4.2. NORMATIVA PARA CARGAS Y MATERIALES

4.2.1. CARGAS A APLICAR SOBRE EL SISTEMA

A la hora de incorporar las cargas a nuestro conjunto, vamos a tener en cuenta que estas siempre se aplican sobre las manguetas del eje. Se situará por tanto, una carga normalizada y uniformemente repartida de 123 KN sobre la superficie semicilíndrica superior de ambas manguetas.

Estamos realizando una simulación en un entorno real, por lo que tenemos que tener en cuenta la fuerza gravitatoria sobre todas las piezas.

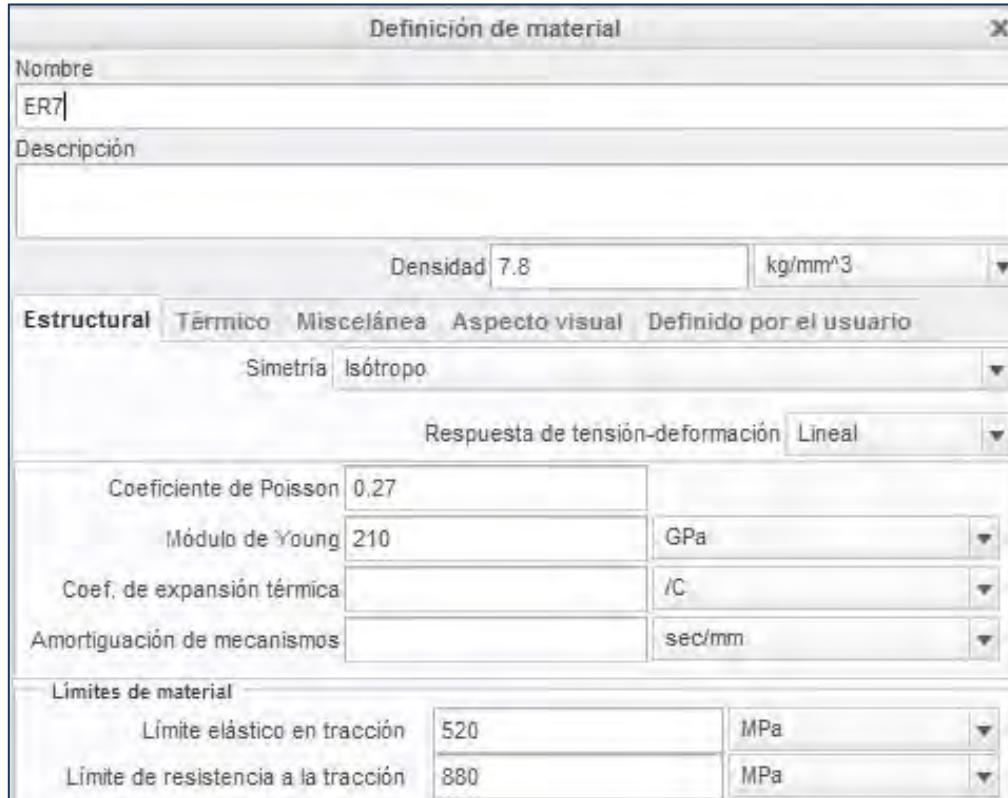
Además de la carga normalizada y la gravedad, vamos a implementar los siguientes esfuerzos sobre el conjunto para añadirlos a nuestra simulación:

- Carga senoidal: con una frecuencia $f_1 = 1$ Hz y un periodo T_1 .
- Carga impulsiva con atenuación: se producirá cada cierto número de ciclos de carga senoidal. Inicialmente vamos a suponer que el periodo de esta carga T_2 , va a ser bastante mayor al periodo de la carga senoidal, de forma que:
 $T_2 \gg T_1$ podemos decir que en una primera aproximación $T_2 = 30 \cdot T_1$. Veremos si es necesario modificarla a medida que vayamos avanzando en los cálculos de nuestra simulación. La frecuencia será $f_2 = 1/15$ Hz.

4.2.2. MATERIALES UTILIZADOS

Los materiales con los que vamos a diseñar los elementos mecánicos, rueda y eje, van a ser aceros experimentales cuyas propiedades mecánicas vamos a enumerar a continuación. Cabe destacar que utilizaremos un material diferente para cada elemento y que ambos han sido extraídos de la publicación científica “17th International Wheelset Congress” proveniente del congreso celebrado en Kiev, Ucrania, en Septiembre de 2013.

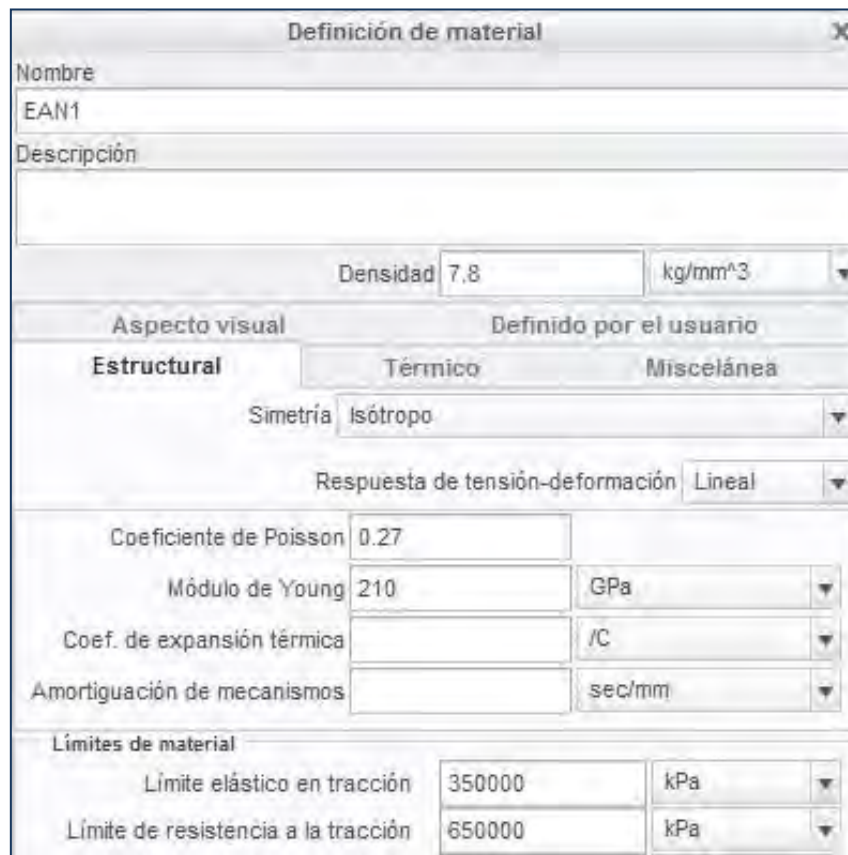
Material utilizado en el diseño de las ruedas (Ilustración 4.8):



Definición de material		
Nombre	ER7	
Descripción		
Densidad	7.8	kg/mm³
Estructural Térmico Miscelánea Aspecto visual Definido por el usuario		
Simetría	Isótropo	
Respuesta de tensión-deformación	Lineal	
Coefficiente de Poisson	0.27	
Módulo de Young	210	GPa
Coef. de expansión térmica		/C
Amortiguación de mecanismos		sec/mm
Límites de material		
Límite elástico en tracción	520	MPa
Límite de resistencia a la tracción	880	MPa

Ilustración 4. 8. Propiedades estructurales del material ER7

Material utilizado en el diseño del eje (Ilustración 4.9):



Definición de material	
Nombre	EAN1
Descripción	
Densidad	7.8 kg/mm ³
Aspecto visual Definido por el usuario	
Estructural	Térmico Miscelánea
Simetría	Isótropo
Respuesta de tensión-deformación	Lineal
Coefficiente de Poisson	0.27
Módulo de Young	210 GPa
Coef. de expansión térmica	/C
Amortiguación de mecanismos	sec/mm
Límites de material	
Límite elástico en tracción	350000 kPa
Límite de resistencia a la tracción	650000 kPa

Ilustración 4. 9. Propiedades estructurales del material EAN1

4.3. MEDIDAS ESTADÍSTICAS

4.3.1. MEDIA ARITMÉTICA

Teniendo una muestra de tamaño N , donde la variable estadística x toma los valores x_1, x_2, \dots, x_N . Se define como la **media aritmética** \bar{x} , o simplemente **media**, de la muestra (1.1)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

Es decir, la media se calcula de forma sencilla sumando los diferentes valores de x y dividiendo por el número total de datos. Si se da la situación en la que los diferentes valores de x aparecieran *repetidos*, tomando entonces los valores x_1, x_2, \dots, x_k con frecuencias absolutas n_1, n_2, \dots, n_k , la media se determina (1.2)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i n_i}{N}$$

Se puede expresar también en función de las frecuencias relativas mediante (1.3)

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^k x_i f_i$$

Si tenemos una muestra agrupada en k intervalos de clase la media se puede calcular, a partir de las marcas de clase c_i y el número n_i de datos en cada intervalo, utilizando la expresión (1.4), similar a la ecuación (1.2),

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k c_i n_i}{N}$$

No obstante debemos tener en cuenta que la expresión anterior es aproximada. Por tanto, si se tiene la posibilidad, es más exacto que para calcular la media, no realicemos el agrupamiento en intervalos y utilicemos la ecuación (1.1)

Una importante propiedad de la media aritmética es que la suma de las desviaciones de un conjunto de datos con respecto a su media es cero. Esto significa que la media equilibra las desviaciones positivas y negativas respecto a su valor (1.5)

$$\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) = \sum_{i=1}^N x_i - \sum_{i=1}^N \bar{x} = \sum_{i=1}^N x_i - N\bar{x} = 0$$

De este modo la media representa una especie de *centro de gravedad*, o centro geométrico, del conjunto de medidas.

4.3.2. MEDIANA

La mediana es una medida de centralización, tal que, si ordenamos los datos de una muestra de menor a mayor, el 50% de estos se encuentran por debajo de su valor y el otro 50% de los datos es superior a dicho valor. Por lo tanto, la mediana separa la distribución de frecuencias en 2 partes iguales o, de forma gráfica, divide en 2 mitades (áreas iguales) el histograma. Para proceder a su cálculo, vamos a clasificarlo en 3 diferentes supuestos:

1. Si los distintos valores de la variable no se encuentran, de forma general, repetidos. De este modo, con los datos que componen la muestra ordenados, la mediana es el valor central si N es impar; o si por el contrario N es par, la mediana es la media aritmética de los 2 valores centrales.
2. Si tenemos una variable discreta, en la que los distintos valores se encuentran repetidos, y sobre la cual hemos creado una tabla de frecuencias calculamos en primer lugar el número de observaciones N dividido entre 2. Distinguiremos entonces entre 2 casos. El 1º se dará cuando $N/2$ coincida con la frecuencia absoluta acumulada N_j de un valor x_j de la variable (o, lo que es lo mismo, cuando la frecuencia relativa acumulada $F_j = 0.5$). En esta situación la mediana se va a situar entre este valor de la variable y el siguiente, dividiendo de este modo la distribución de frecuencias en 2. Significa, que matemáticamente, se calcula como la media aritmética de dicho valor de la variable y su superior (2.1)

$$M_e = \frac{x_j + x_{j+1}}{2}$$

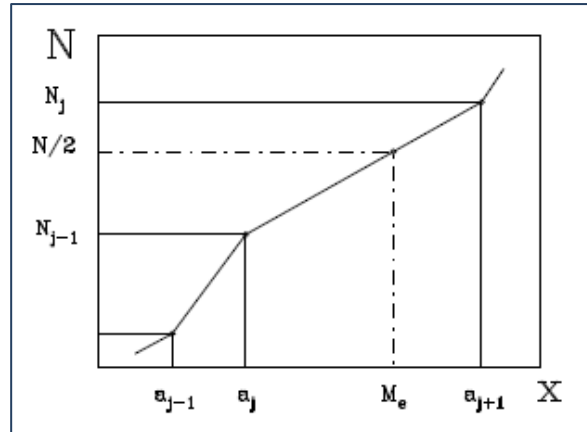


Ilustración 4. 10. Polígono de interpolación de frecuencias acumuladas

El 2º caso se producirá cuando $N/2$ no coincida con ningún valor de la columna de frecuencias acumuladas, que es el caso general (Ilustración 4.10). La mediana será el primer valor de x_j con frecuencia absoluta acumulada N_j mayor que $N/2$. El valor central de la distribución se correspondería en esta situación con una de las medidas englobadas en x_j .

3. Sea una muestra de una variable continua cuyos valores se encuentran agrupados en intervalos de clase. Se pueden dar dos casos. El 1º, si $N/2$ coincide con la frecuencia absoluta acumulada N_j de un intervalo (a_j, a_{j+1}) (siendo la marca de clase c_j), la mediana será el extremo superior de este intervalo a_{j+1} . Si por el contrario ninguna frecuencia absoluta acumulada, caso general, coincide con $N/2$ tendremos que interpolar en el polígono de frecuencias acumuladas. Si suponemos que $N/2$ se está situado entre las frecuencias N_{j-1} y N_j , que se corresponden con los intervalos (a_{j-1}, a_j) y (a_j, a_{j+1}) respectivamente, la mediana va a encontrarse en un punto del intervalo mayor (a_j, a_{j+1}) . Interpolaremos mediante el polígono de frecuencias acumuladas para obtener el valor exacto de la mediana (2.2)

$$\frac{a_{j+1} - a_j}{N_j - N_{j-1}} = \frac{M_e - a_j}{N/2 - N_{j-1}}$$

$$\rightarrow M_e = a_j + \frac{N/2 - N_{j-1}}{N_j - N_{j-1}}(a_{j+1} - a_j) = a_j + \frac{N/2 - N_{j-1}}{n_j}(a_{j+1} - a_j)$$

4.3.3. VARIANZA Y DESVIACIÓN TÍPICA

La desviación típica es la forma más utilizada de estimar la dispersión de los datos de una muestra. Es especialmente útil cuando se utiliza la media aritmética como medida de tendencia central. Se basa en un valor promedio de las desviaciones con respecto a la media, haciendo uso de los valores de los cuadrados de las desviaciones. De este modo, los datos con grandes desviaciones influirán mucho en el resultado final. Vamos a definir inicialmente la **varianza** de una muestra con datos repetidos (3.1)

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 n_i}{N - 1}$$

Como la varianza tiene unas unidades distintas a las de los datos de la muestra, introduciremos el concepto de **desviación típica** (o estándar), que no es sino la raíz cuadrada de la varianza (3.2)

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 n_i}{N - 1}}$$

Si los datos no se repiten, las definiciones de varianza (3.3) y desviación típica (3.4) pasan a ser

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1} ; s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

Es común encontrarnos la varianza y la desviación típica definidas utilizando como denominador N en lugar de $N-1$, de este modo la varianza representa una verdadera media aritmética del cuadrado de las desviaciones. Utilizamos $N-1$ para nuestra definición dado que estima la dispersión de los datos de forma más precisa. Aunque hemos de decir que cuando N es grande, llegamos a resultados muy parecidos con las 2 definiciones.

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 n_i}{N}} = \sqrt{\frac{N-1}{N}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 n_i}{N-1}}$$

De manera práctica la expresión (3.1) no es muy útil de aplicar. Por tanto la transformaremos en la siguiente

$$\begin{aligned} s^2 &= \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 n_i}{N - 1} = \frac{\sum x_i^2 n_i - 2 \sum x_i \bar{x} n_i + \sum \bar{x} n_i}{N - 1} = \\ &= \frac{\sum x_i^2 n_i - 2 \bar{x} \sum x_i n_i + N \bar{x}^2}{N - 1}, \end{aligned}$$

y sabiendo que $\sum_{i=1}^k n_i = N$. Haciendo uso de la ecuación (1.2) para la media

$$s^2 = \frac{\sum x_i^2 n_i - 2 \frac{1}{N} \sum x_i n_i \sum x_i n_i + \frac{N}{N^2} (\sum x_i n_i)^2}{N - 1} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i^2 n_i - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^k x_i n_i)^2}{N - 1}$$

4.3.4. MÁXIMO Y MÍNIMO

Una función $y = f(x)$ tiene un *máximo absoluto* en el punto $x = a$ si $f(x) \leq f(a)$ para todo x en el dominio de f ; al número real $f(a)$ se le llama valor *máximo absoluto* de la función.

De forma análoga diremos que la función presenta un *mínimo absoluto* en $x = a$ de valor $f(a)$, si $f(x) \geq f(a)$, para todo x en el dominio de f .

Existen además ciertos puntos a lo largo de una función que sin ser máximos o mínimos absolutos, si son puntos máximos o mínimos en su entorno cercano, diremos entonces que:

Si $f(x) \leq f(a)$ para todo x perteneciente al intervalo con centro en a : $(a - \delta, a + \delta)$ la función tiene un *máximo relativo* localizado en $x = a$ de valor $f(a)$, y por el contrario si $f(x) \geq f(a)$ para todo x perteneciente al intervalo mencionado previamente, diremos que f posee un *mínimo relativo* en $x = a$ de valor $f(a)$.

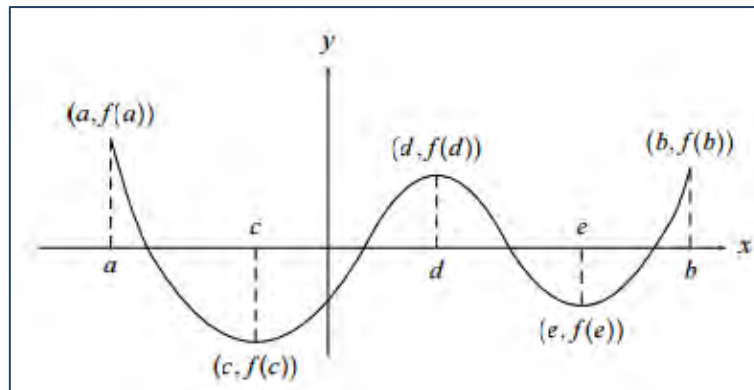


Ilustración 4. 11. Función $y = f(x)$

Todos los máximos y mínimos se encuentran representados en la imagen (Ilustración 4.11)

Máximo absoluto en $x = a$, de valor $f(a)$.

Máximo relativo en $x = d$, de valor $f(d)$.

Mínimo absoluto en $x = c$, de valor $f(c)$.

Mínimo relativo en $x = e$, de valor $f(e)$.

4.3.5. ASIMETRÍA Y CURTOSIS

Para tener una visión más completa de la descripción estadística de una muestra de datos, además de su media, mediana y dispersión, vamos a estudiar el grado de simetría de los datos referenciados a su medida central y la concentración de los datos en torno a este valor.

Coefficiente de asimetría o sesgo:

Una distribución es simétrica si los valores de la variable que equidistan del valor central, a ambos lados del mismo, tienen la misma frecuencia. Significa que tendremos simetría en el histograma alrededor del eje (ficticio) vertical trazado en el punto central. Se dice que la distribución de medidas es perfectamente simétrica si su media aritmética, mediana y moda coinciden ($\bar{x} = M_e = M_o$).

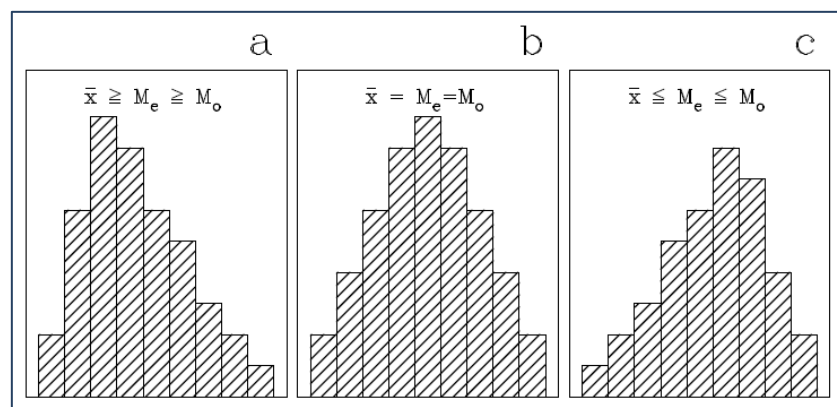


Ilustración 4. 12. D. Asimétrica: a) hacia drcha., + y b) hacia izqda., - b) D. Simétrica

El agrupamiento de datos de una muestra con respecto a su valor central, es una importante característica que nos ayuda a conocer como es la distribución de los mismos (Ilustración 4.12).

De no existir simetría, observaremos la cola de medidas del histograma y si se muestra hacia valores altos o bajos de la variable, diremos que hay asimetría positiva o negativa respectivamente. Además se conoce como distribución sesgada a la derecha (sesgo positivo) o a la izquierda (sesgo negativo). Es lógico pensar que si para una distribución simétrica su media aritmética, mediana y moda coinciden, para una distribución asimétrica no lo hagan. Siendo para una asimetría positiva $\bar{x} \geq M_e \geq M_o$ y para una negativa $\bar{x} \leq M_e \leq M_o$.

Definiremos 2 coeficientes principales de asimetría para conocer el grado de asimetría de una distribución:

- Coeficiente de asimetría de Fisher: es el cociente entre el momento de orden 3 respecto a la media y el cubo de la desviación típica. Siendo por tanto adimensional, nos permite comparar diferentes muestras

$$g_1 = \frac{m_3}{s^3} \quad \text{donde} \quad m_3 = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^3 n_i}{N}$$

Si la distribución es simétrica las desviaciones se van a cancelar, resultando el coeficiente de asimetría $g_1 = 0$. Para asimetría positiva $g_1 > 0$ y negativa $g_1 < 0$.

- Coeficiente de asimetría de Pearson: al igual que el anterior es adimensional y lo definimos como:

$$A_p = \frac{\bar{x} - M_o}{s}$$

Se anula para una distribución simétrica (media = moda) al igual que el coeficiente de Fisher, y su valor positivo o negativo aumenta al incrementarse el sesgo hacia la derecha o la izquierda, respectivamente, de la distribución.

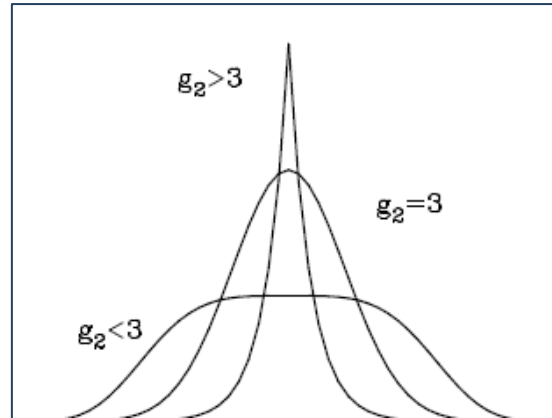
Coeficiente de curtosis:

La distribución de una muestra tiene una característica importante en el modo de agrupamiento de los datos en torno al valor central. Ésta se denomina **curtosis** y cuantitativamente se evalúa mediante el **coeficiente de curtosis**, definido como el cociente entre el momento de cuarto orden respecto a la media y la desviación típica (elevada a la cuarta para tener un coeficiente adimensional).

$$g_2 = \frac{m_4}{s^4} \quad \text{donde} \quad m_4 = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^4 n_i}{N}$$

Al aumentar el apuntamiento de una distribución se incrementará el valor del coeficiente. Existen tres denominaciones para la forma en la que se distribuyen los datos en torno al valor central (Ilustración 4.13):

- Distribución leptocúrtica: gran apuntamiento o pico en el histograma, $g_2 > 3$.
- Distribución platicúrtica: agrupamiento de forma aplanada, pico inapreciable en el histograma, $g_2 < 3$.
- Distribución mesocúrtica: agrupamiento intermedio con respecto a los dos casos previos, $g_2 = 3$. Se corresponde con una distribución *normal*, o campana de Gauss.

Ilustración 4. 13. Tipos de distribuciones según g_2

4.4. EL FENÓMENO DE LA FATIGA

4.4.1. INTRODUCCIÓN

La fatiga en elementos mecánicos es un fenómeno que se produce cuando éstos se encuentran sometidos a cargas variables. En este tipo de casos la rotura se presenta con aplicación de cargas de valor notablemente inferior a la resistencia del material y de forma repentina sin deformación. Lo cual hace que sea un fallo potencialmente muy peligroso comparado con la rotura estática para materiales dúctiles, caso que se alcanza después de superar la fluencia, ya que se genera una deformación permanente que indica la inmediata rotura (Ilustración 4.14).

Por tanto hemos de tener en cuenta el estudio a fatiga durante la fase de diseño y a lo largo de la vida útil de los elementos y componentes de nuestros sistemas mecánicos. Realizaremos la estimación del tiempo durante el cual la pieza va a ser óptima para operar bajo unas determinadas condiciones de servicio.

Para hacernos una idea de la importante magnitud de este fenómeno, hemos de saber que en torno al 80% de los casos de fallo de los elementos mecánicos que componen el wheelset, se deben a la fatiga.



Ilustración 4. 14. Eje con rotura por fatiga

Aplicando el fenómeno de la fatiga al ámbito de estudio de este proyecto, podemos observar que la causa de fallo es el deslizamiento relativo entre la superficie del eje y la superficie anterior del centro de la rueda, iniciándose desgaste y micro fisuras. Si se prolonga en el tiempo este sistema de carga alternante con deslizamiento se iniciarán grietas en la superficie del eje.

4.4.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ROTURA POR FATIGA

El origen de la rotura por fatiga es un punto de concentración de tensiones en la superficie de rotura. Observar la superficie de fractura por fatiga de un elemento mecánico nos puede ayudar a comprender las condiciones de trabajo y rotura.

En un eje de transmisión, por ejemplo, se aprecian tres zonas diferentes (Ilustración 4.15):

- Zona 1: comprende más del 50% de la sección del eje. Se puede observar el punto de concentración de tensiones y origen de la fractura (borde de la chaveta en este caso), y como se ha ido propagando la fisura lenta y asimétricamente, como corresponde a fracturas por fatiga de un eje rotatorio. Se manifiesta la tendencia de propagación de la grieta en la dirección contraria al giro del eje (que es horario). Esta zona destaca además por su superficie lisa.
- Zona 2: abarca casi el resto de la sección del eje, en ella se incrementa la velocidad de propagación de la grieta. Se caracteriza por su rugosidad superficial.
- Zona 3: es una pequeña zona (parte inferior del eje) en la que se alcanza la rotura final por fatiga de forma dúctil. Al estar sometido a cargas de valor muy inferior a la resistencia del material, la rotura se produce en esta pequeña sección. La superficie de esta zona nos muestra las propiedades del material del eje, si es fibrosa, el material es dúctil mientras que si es de aspecto cristalino el material es frágil.



Ilustración 4. 15. Zonas de avance de la fatiga

La rotura por fatiga tiene una duración temporal acotada y para conocer su proceso de formación se trabaja con diferentes métodos de inspección de microgrietas, que se aplicarán principalmente sobre los puntos en los que exista concentración de tensiones ya que en estos se origina la fractura. Destacan:

- Ultrasonidos.
- Utilización de isótopos radiactivos.
- Líquidos penetrantes.
- Mediante las propiedades magnéticas de elementos.

4.4.3. ESTADO DEL ARTE DEL FENÓMENO DE FATIGA

En la actualidad existe una gran fiabilidad en la estimación de la vida a fatiga de los componentes mecánicos. Gracias al continuo estudio y desarrollo llevado a cabo en diversas áreas de la ciencia y la ingeniería durante los últimos 180 años, se posee un conocimiento cada vez mayor del fenómeno de fatiga; podemos enumerar una serie de avances como: los métodos de detección de grietas, que cada vez son más precisos, la tecnología empleada por las propias máquinas, en constante evolución, la utilización de la mecánica de la fractura, el mejor conocimiento de los fundamentos teóricos como el gradiente de tensiones, el estudio y aprendizaje sobre los propios fallos ocurridos, los estudios de simulación con métodos de elementos finitos (FEM), etc.

Nuestro objeto de estudio, el eje ferroviario montado o wheelset, es uno de los elementos mecánicos de mayor interés en cuanto a prevención de fallo por fatiga se refiere. Esto es debido a que se encuentra sometido a rotación y bajo un alto índice de ciclos de carga variable (trabaja con valores alternantes similares de tracción y compresión en un mismo ciclo y para cada punto superficial). Por las diversas medidas llevadas a cabo, como las anteriormente mencionadas y las mejoras en los protocolos de mantenimiento, la frecuencia del fallo por fatiga en ejes ferroviarios ha ido disminuyendo progresivamente.

Sirvan a modo de ejemplo esta serie de datos para conocer la evolución en la fiabilidad y los efectos causados por el fallo de fatiga: en los últimos 25 años en Reino Unido ha habido una media de en torno a 1.6 fallos de eje/año, teniendo en cuenta que hay una población de 180.000 ejes en funcionamiento.

Entre los años 1997 y 2007 se produjeron en Canadá 35 descarrilamientos de tren causados por fallo de ejes.

En Junio del año 2009 se produjo un accidente ferroviario en el norte de Italia, en la localidad toscana de Viareggio (Ilustración 4.16). Un tren cisterna que transportaba GLP descarrilaba a causa de un fallo en uno de sus ejes, generándose una fuga de gas que resultó finalmente en una fuerte explosión. Las consecuencias del siniestro fueron al menos de 24 personas fallecidas y diversos heridos de carácter grave, siendo uno de los peores accidentes del transporte ferroviario moderno a nivel mundial.



Ilustración 4. 16. Accidente ocurrido en 2009 en Viareggio, norte de Italia

Todos estos accidentes nos muestran la necesidad de continuar investigando e invirtiendo en desarrollar diseños, métodos y protocolos de mantenimiento para mejorar el conocimiento y anticiparnos ante los posibles fallos de estas características que puedan surgir los en ejes ferroviarios.

En la actualidad se están llevando a cabo diversas iniciativas a nivel internacional y gubernamental siguiendo estas líneas de investigación, como el proyecto *EURAXLES 'Minimización de los fallos en los ejes de transporte ferroviario'* financiado por la Unión Europea, enfocado en reducir tanto como sea posible los fallos de los ejes ferroviarios.



CAPÍTULO 5

Software: Creo Elements/PRO



5.1. INTRODUCCIÓN

El método de los elementos finitos es un procedimiento numérico que se utiliza para resolver problemas de física matemática y de ingeniería. En los elementos con geometrías complejas, a los que se les aplican determinados sistemas de cargas y están constituidos por materiales diversos, por lo general, no es posible obtener una solución matemática exacta de forma analítica.

Si hablamos de las expresiones analíticas, diremos que son aquellas que se basan en fórmulas matemáticas para obtener los valores de las variables desconocidas deseadas. Se encuentran en cualquier lugar de un cuerpo objeto de estudio, siendo válidas para cualquier punto de este. Estas soluciones generalmente requieren ser resueltas mediante ecuaciones diferenciales parciales u ordinarias, que por la complejidad de la geometría, sistema de cargas o por las propiedades de los materiales empleados, no son fáciles de resolver. Esto nos llevaría a aplicar una serie de hipótesis que simplifiquen el modelo, que pueden influir en la precisión del resultado final. Es esencial pues, confiar en los métodos numéricos como el de los elementos finitos, mediante el cual, la solución del problema se da resolviendo un sistema de ecuaciones en diferencias de forma iterativa, en vez de un sistema de ecuaciones diferenciales.

Llamamos discretización a la transformación de un sistema continuo en otro equivalente formado por pequeñas entidades o unidades de pequeño tamaño (elementos finitos) de geometría simple, interconectadas en los puntos comunes de dos o más elementos, líneas de contorno o superficies.

Este procedimiento, en lugar de solucionar el problema de dominio en una operación, aplica las leyes físicas a cada uno de los elementos finitos y al combinarlos se obtiene la solución total. La exactitud depende del nº de elementos en el que dividamos el modelo continuo.

El método de elementos finitos (MEF) se ha convertido en un elemento clave e indispensable en la tecnología, modelización y simulación de sistemas de ingeniería avanzada en diversos campos como la vivienda, transporte, comunicaciones, etc.

5.2. ELEMENTOS DE UN MODELO MEF

1. Nodo.

Se trata de un punto de unión entre los elementos en los que se dividen las piezas del modelo. Cada nodo ocupará una posición de coordenadas en el espacio donde están definidos los grados de libertad. Los grados de libertad asociados a este punto representan los posibles movimientos que éste puede describir al someter a carga la estructura. También señalan qué fuerzas y momentos se transfieren de un elemento al siguiente. Los resultados de un análisis por elementos finitos como desplazamientos, tensiones, etc., suelen darse por nodos.

Los grados de libertad de un nodo, que dependerán del tipo de elemento, indican también qué tipos de fuerzas y de restricciones se transmiten a través del nodo hasta el elemento. Las fuerzas axial y cortante equivalen a un grado de libertad de traslación. Un momento equivale a un grado de libertad de rotación. De esta forma, para poder transferir un momento en torno a un determinado eje, el nodo debe tener ese grado de libertad. Si un nodo no posee ese grado de libertad de rotación, la aplicación de un momento a ese nodo no tendrá efecto alguno sobre el análisis.

2. Elemento.

El elemento es el bloque constructivo básico del análisis por elementos finitos. Conforma una relación matemática que define la interrelación entre los grados de libertad de un nodo y los del siguiente. Existen diferentes tipos básicos de elementos. De este modo, la elección del tipo de elemento que se empleará para realizar el análisis por MEF dependerá del tipo de modelo que se vaya a estudiar. Los principales tipos de elementos son:

- **Viga:** utilizado para análisis de dos o tres dimensiones de elementos que sean suficientemente esbeltos. Se representan con una sola dimensión, la longitud.
- **Placa:** Utilizados para estructuras de paredes delgadas. En estos, se supone que la tensión varía linealmente en el espesor.
- **Sólido:** tipo de elemento más general. Existen varios tipos de elementos sólidos según sea la forma del objeto de estudio: bloque, tetraedro, hexaedro...

5.3. APLICACIONES PRÁCTICAS

Utilizamos el método de los elementos finitos para estudiar tanto problemas estructurales como no estructurales. La resolución de problemas con este proceso suele realizarse en las siguientes áreas:

- **Análisis de tensiones en el modelo.** Especialmente los relacionados con la concentración de estas que generan agujeros, flancos y otros cambios en la geometría del cuerpo.
- **Estudio de vibraciones.** Para evitar efectos indeseados si el sistema trabaja a frecuencias cercanas a su frecuencia propia.
- **Pandeo.**

Dentro de los problemas no estructurales se incluyen:

- **Flujo de fluidos,** incluyendo filtración a través de medios porosos.
- **Transferencias de calor.**
- **Transporte de masa.**
- **Distribución de potencial electromagnético.**

También se aplica este método en algunos problemas de ingeniería biomecánica, donde el estudio de las tensiones es de gran importancia. Algunos ejemplos de este tipo son el análisis de la columna vertebral, el cráneo, las articulaciones, implantes dentales, el corazón o los ojos. Algunos economistas ya han propuesto la utilización de herramientas MEF para la simulación de situaciones económicas.

5.4. ACERCAMIENTO A CREO ELEMENTS/PRO

Creo Elements/PRO es el software que hemos utilizado como herramienta para el análisis de MEF, existe desde el año 2010 y ha sido desarrollado sobre la plataforma PRO Engineer. Es un producto de soluciones integradas para diseño, fabricación e ingeniería asistida por ordenador CAD/CAM/CAE creado por la empresa estadounidense Parametric Technology Corporation (PTC) y su germen se remonta a mediados de la década de 1980. Fue el primer software asociativo de modelado paramétrico basado en características.

El sistema constituido por PTC se encuentra formado por numerosas aplicaciones además del mencionado software Creo Elements/PRO destacando entre otras: Windchill (orientada gestión de contenidos y procesos), ProductView (para la simulación avanzada y visualización interactiva), Mathcad (para cálculos de ingeniería), etc.

Las principales características de PTC Creo son enunciadas en la web del desarrollador: 'es un conjunto ampliable y compatible de aplicaciones de diseño de productos que ofrece obtención rápida de valor. Ayuda a los equipos a crear, analizar, ver y aprovechar los diseños de productos en fases posteriores utilizando modelado CAD 2D, CAD 3D, paramétrico y directo'.

A la hora de elaborar el proyecto hemos trabajado con la versión Creo 2.0 lanzada al mercado en el año 2012, con una licencia de uso académico como corresponde al ámbito del presente trabajo.

Desarrollamos a continuación los principales módulos en los que se encuentra distribuido el software:

5.5. MÓDULOS DE REPRESENTACIÓN (CAD 2D)

Para llegar a la fase de diseño se ha de realizar previamente una completa representación digital de los elementos y componentes a analizar. Para este fin utilizaremos los módulos de representación, que nos suministran herramientas de geometría así como otro tipo de formatos necesarios para el diseño industrial integrado como generación de cableado, conductos, etc.

Dado que tras la fase de representación pasaremos a diseñar nuestras piezas, siendo por tanto fases que necesitan de una importante cohesión y colaboración entre sí, dispondremos también de las herramientas de diseño en estos módulos.

Estas herramientas hacen uso de conceptos de diseño real y podremos utilizarlos como referencia a la hora de generar nuestras piezas y conjuntos, lo que nos hará más intuitivo el manejo del programa y nos facilitará la obtención de datos.

5.5.1. CREO SKETCH

Este producto de PTC nos permite capturar las ideas de forma rápida, reemplazando a los tradicionales esbozos realizados a mano para diseños conceptuales, industriales y revisiones de diseños previos. Podremos además realizar los esbozos tanto en ordenadores tradicionales como en tabletas para agilizar la forma de generación, incrementando la comodidad y productividad. De este modo coordinaremos de forma rápida a los equipos de marketing, proveedores, clientes y diseñadores compartiendo electrónicamente las ideas de diseño.

Con PTC Creo Sketch generaremos esbozos en entorno CAD 2D (Ilustración 5.1), teniendo la capacidad de incorporar color y otras mejoras visuales para transformar estos esbozos en ilustraciones acabadas. Por otro lado existe compatibilidad con otras aplicaciones de PTC Creo, por lo que podremos importar las imágenes 2D generadas e incorporarlas como base de diseños CAD 3D.

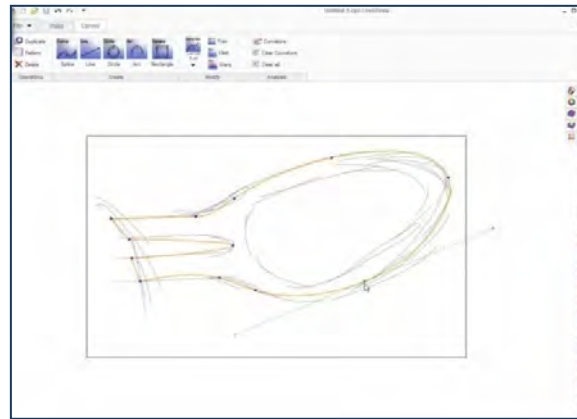


Ilustración 5. 1. Esbozo en entorno Creo Sketch

5.5.2. CREO LAYOUT

Creo Layout es una herramienta CAD 2D que nos permite generar conceptos detallados en 2D incluyendo información específica como cotas y anotaciones, para partiendo de estos datos desarrollar de forma ágil modelos 3D (Ilustración 5.2). De esta forma conseguiremos reducir errores y ahorrar tiempos ya que no tendremos que cambiar de sistema CAD al pasar a entorno 3D, siendo también compatible el formato de los archivos. Por todo ello la fidelidad con respecto al diseño original será máxima.

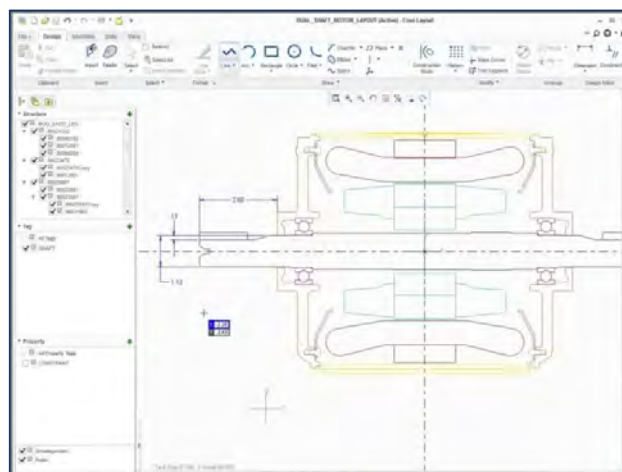


Ilustración 5. 2. Representación 2D acotada en entorno Creo Layout

5.5.3. CREO SCHEMATICS

Creo Schematics es una aplicación que nos permite generar los diseños esquemáticos de sistemas ruteados como los sistemas de cables, tuberías, HVAC e hidráulicos, de forma sencilla

y rápida, incluyendo la documentación completa del sistema. A partir de los diseños de los diagramas esquemáticos en 2D para PTC Creo Parametric, se automatiza la creación de los sistemas ruteados 3D. Así, mediante la correcta interpretación de la lógica 2D se reducen los errores y se acorta el tiempo de transferencia al entorno 3D, incrementándose también la calidad final del producto puesto que tenemos un único modelo digital.

5.6. MÓDULOS DE DISEÑO (CAD 3D)

Mediante el software de CAD 3D desarrollado por PTC Creo y sus diferentes módulos podremos generar prototipos virtuales en entornos espaciales, dentro de un ámbito de modelado con compatibilidad entre sus múltiples herramientas, incorporando así las tecnologías, métodos y prácticas recomendables en el diseño paramétrico y directo. Esto nos va a permitir adaptarnos a las necesidades que requiera el desarrollo de nuestro producto en concreto y su nivel de especialización.

5.6.1. CREO PARAMETRIC

PTC Creo Parametric es un módulo de diseño 3D que nos permite generar modelos a partir de cualquier pieza o conjunto. También podremos obtener planos de mecanizado de forma automática que responderán de forma fidedigna al diseño realizado. Mediante la utilización de este software se pondrá a nuestro alcance la realización de análisis, representaciones y animaciones, también nos optimizará la productividad de un diverso abanico de tareas propias del diseño mecánico. Con Creo Parametric podremos reutilizar datos neutros de CAD y otros sistemas diferentes de PTC.

Los productos obtenidos con Creo Parametric tendrán una alta calidad y se podrán comunicar de manera eficaz las áreas de mecanizado, proveedores y clientes en caso necesario.

5.6.2. CREO DIRECT

Mediante esta aplicación autónoma podremos gestionar de forma rápida y directa los datos de diseño CAD 3D, facilitando el trabajo a las personas que se ocupan de los aspectos de diseño conceptual, análisis y el mecanizado y además permitiendo a los usuarios que no estén acostumbrados a los entornos CAD a participar en el diseño de los elementos (Ilustración 5.3).

Como el entorno de trabajo de Creo Direct es intuitivo, ágil y flexible, esta herramienta se hace particularmente útil en la generación de propuestas, fases de diseño inicial o captación de datos de diseño en trabajos de campo.

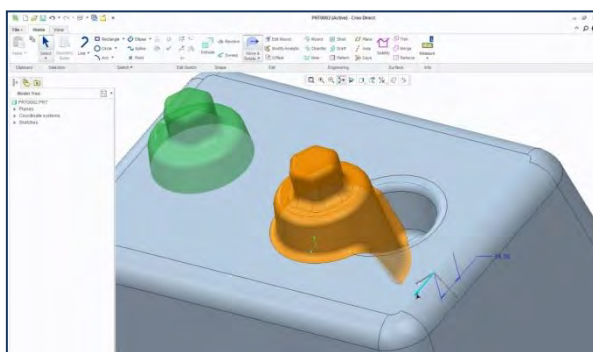


Ilustración 5. 3. Modelo 3D generado en entorno Creo Direct

5.6.3. CREO OPTIONS MODELER

Esta aplicación se encuentra enfocada a la generación y validación de conjuntos de productos modulares 3D, sea cual sea su complejidad. Como crearemos módulos reutilizables y estableceremos su forma de interactuar y ensamblarse, podremos reproducir ágilmente una amplia gama de productos sin que el coste y la complejidad se vean afectados.

5.7. MÓDULOS DE SIMULACIÓN

PTC Creo nos proporciona soluciones CAE mediante las cuales podremos realizar simulaciones de los productos diseñados directamente con la geometría CAD 3D, basándose en el análisis de elementos finitos y obteniendo información vital del rendimiento de los elementos diseñados operando en entornos reales. De este modo especificaremos en nuestro diseño materiales, condiciones globales de contorno y sistemas de cargas estáticas y dinámicas para generar nuestras condiciones deseadas de simulación.

5.7.1. CREO SIMULATE

PTC Creo Simulate es una solución de análisis de las propiedades estructurales, térmicas y de vibraciones con un conjunto completo de prestaciones que permiten estudiar el rendimiento de los prototipos virtuales en 3 dimensiones antes de crear la primera pieza física. Obtendremos de este modo una visión clara que aporta valor y reduce costes de producción al minimizar la necesidad de crear prototipos físicos, ahorrando también al reducir el peso, optimizando los procesos de mecanizado y elección de materiales.

5.8. MÓDULOS DE VISUALIZACIÓN

5.8.1. CREO VIEW MCAD

Herramienta que nos permite la rápida visualización de los productos diseñados. Tiene alto nivel de compatibilidad con los datos 3D de las principales herramientas de MCAD, además de diversos tipos de documentos y dibujos. Debido a su fácil accesibilidad nos permite tener conocimiento de información compleja reduciendo los periodos de rediseño y mejorando la gestión de decisiones. Los usuarios pueden utilizar funciones únicas, como por ejemplo sondeos cruzados entre representaciones de MCAD/ECAD.

5.8.2. CREO VIEW ECAD

Esta aplicación nos permite interconectar las funciones departamentales de ingeniería, diseño, pruebas y montaje por medio de la compatibilidad con los diseños de PCB y con diseños de productos generales. También soporta planos y documentos de diversas fuentes.

5.8.3. CREO VIEW MOBILE

Mediante Creo View Mobile podremos visualizar nuestros modelos 3D obtenidos en Creo View o desarrollados en otras herramientas de CAD y publicados posteriormente con extensión de Creo View, en nuestro dispositivo móvil iPhone o tableta iPad. Esto agiliza los procesos y mejora la comunicación interdepartamental entre proveedores, socios y clientes.

5.8.4. CREO ILLUSTRATE

Basándose en una combinación de datos CAD asociativos y presentaciones de ilustración 3D, Creo Illustrate nos permite generar ilustraciones y animaciones 3D interactivas (Ilustración 5.4), para ofreciendo esta información gráfica específica de la configuración de diseño de nuestros productos, poder proceder al uso, reparación y mantenimiento de los mismos. Así nos facilitará el trabajo a la hora de desempeñar procesos complejos. Este software está integrado con las herramientas PTC Windchill, PTC Creo y PTC Arbortext.

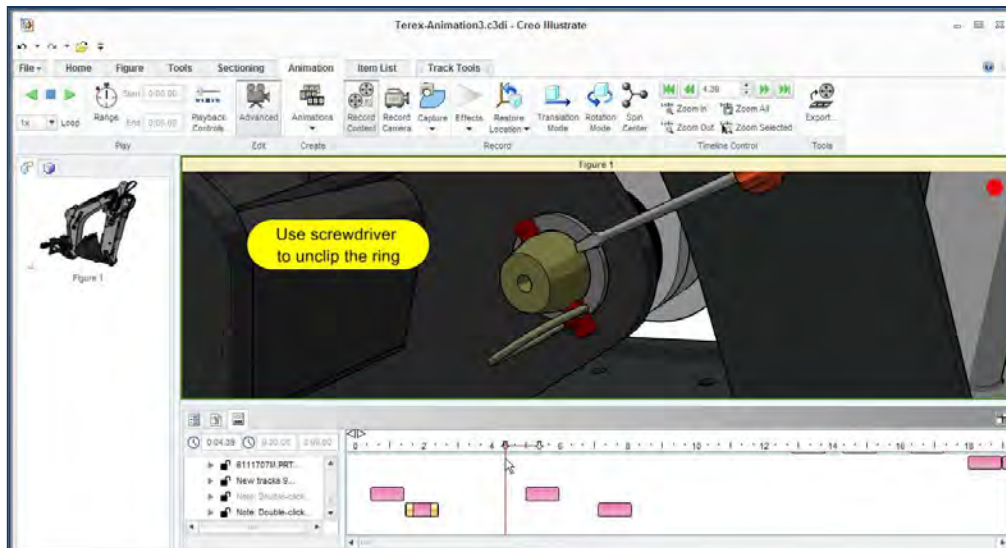


Ilustración 5. 4. Modelo 3D, trabajando en el entorno Creo Illustrate

5.9. TIPOS DE FICHEROS SOPORTADOS POR EL SOFTWARE

Dentro del entorno de trabajo que nos ofrecen las diferentes herramientas englobadas en Creo Elements/PRO podremos utilizar principalmente los siguientes formatos de archivo:

- Assembly (.asm): Archivo de conjunto. Un archivo de conjunto puede contener uno o más archivos de este mismo tipo o tipo pieza para ser ensamblados.
- Part (.prt): Archivo de pieza. Un archivo de este tipo es la suma de un conjunto de funciones (cortes, roscados, agujeros, extrusiones, redondeos, etc.)
- Drawing (.drw): Archivo de dibujo. Es un plano en 2D obtenido con las diferentes vistas (alzado, planta, secciones, etc.) del modelo 3D que hayamos generado con anterioridad.
- Step (.stp): Archivo CAD. Este tipo de documento responde a la necesidad de crear un formato internacional que cubra limitaciones de las normas de conversión de datos.





CAPÍTULO 6

Metodología



6.1. ANTECEDENTES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El presente proyecto sigue la línea de investigación establecida por el departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Carlos III de Madrid; mediante la cual se han ido desarrollando estudios de vibraciones mecánicas y análisis modales en elementos ferroviarios como la rueda y el eje o el conjunto wheelset, trabajando con herramientas de métodos de elementos finitos pertenecientes a diversas plataformas informáticas. El fin último de esta corriente de investigación es llevar a cabo el estudio de vibraciones mecánicas en los elementos físicos, haciendo uso de todo el conocimiento adquirido en los estudios previos de análisis modal con métodos de elementos finitos. De este modo trataremos de mejorar las operaciones de mantenimiento preventivo en los elementos de rodaje de los equipos ferroviarios, para tratar anticiparnos y prevenir el posible fallo en condiciones de servicio de alguno de estos componentes (Ilustración 6.1).



Ilustración 6. 1. Cabezas motrices de trenes Ave en operaciones de mantenimiento

Nuestro proyecto se centra en la realización de análisis modales en el conjunto eje montado o wheelset, compuesto por el eje y las ruedas ferroviarias, llevado a cabo en el software de elementos finitos Creo Elements/PRO. Estudiaremos las frecuencias propias de vibración y como la existencia de pequeñas grietas en nuestros componentes afectan al funcionamiento del conjunto y generan variaciones en las principales magnitudes sometidas a estudio, que son la aceleración, el desplazamiento y el stress generados sobre los puntos más representativos de nuestros componentes; introduciendo de forma complementaria impulsos vibratorios sinusoidales que pueden ser generados por la existencia de fuerzas externas.

Para tener una visión global de las tendencias de variación de nuestras principales magnitudes de estudio con respecto a las frecuencias y modos propios de vibración, así como a su sensibilidad a la introducción de defectología e impulsos externos, vamos a hacer uso de una serie de variables estadísticas que van a ser la herramienta adecuada que nos garantice la representatividad de los datos obtenidos.

6.2. DEFINICIÓN DEL EJE Y LA RUEDA FERROVIARIA

6.2.1. DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA

En primer lugar vamos a especificar la geometría de los elementos que componen el wheelset, para poder definirlos en el software de elementos finitos. Los datos nos los va a facilitar el Departamento de Ingeniería Mecánica mediante los planos de representación de las vistas perfectamente definidas y acotadas de las piezas (Ilustraciones 6.2 y 6.3) que se encuentran situados en el Anexo A - Planos.

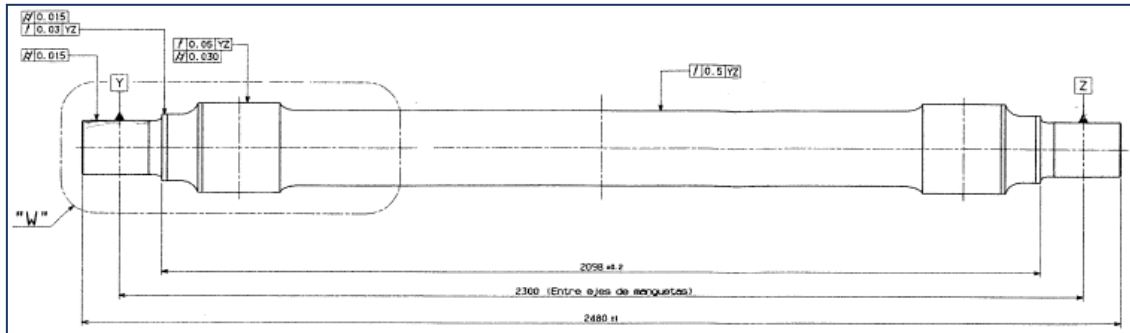


Ilustración 6. 2. Representación del eje ferroviario en vista de alzado

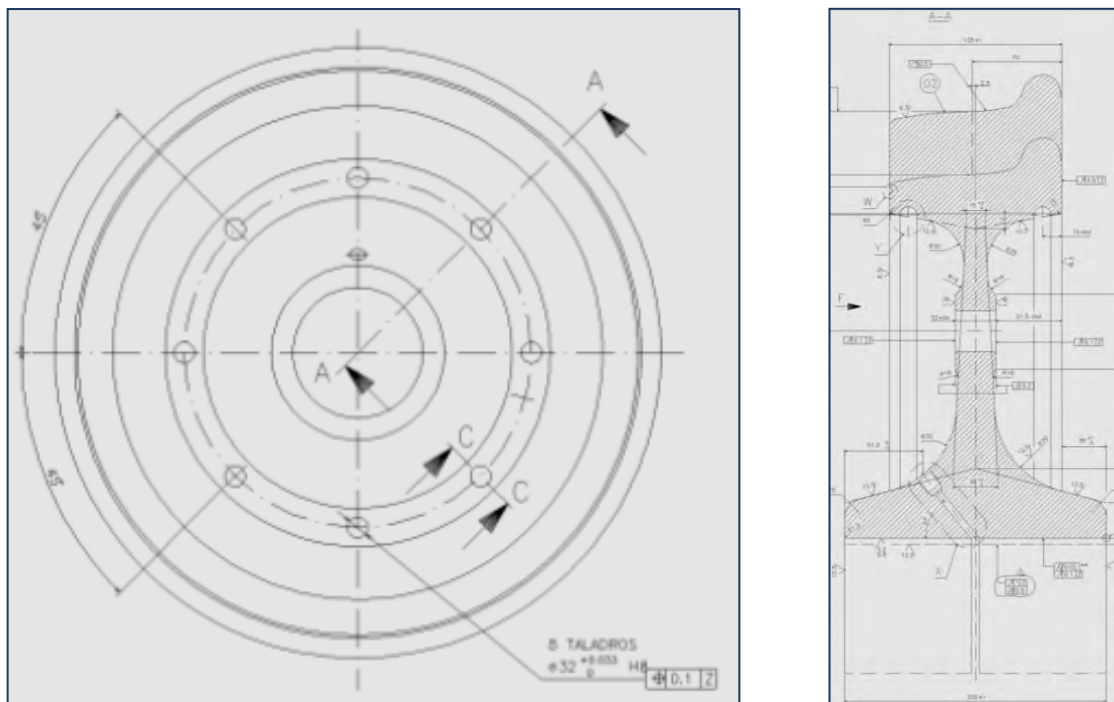


Ilustración 6. 3. Representación del eje ferroviario en vistas de alzado y sección

6.2.2. MATERIALES DE DISEÑO

Utilizaremos un tipo de acero para cada componente del wheelset, de esta forma utilizaremos dos tipos de aceros experimentales:

Acero EAN1:

Es el material en el que va a estar conformado el eje ferroviario, sus principales propiedades han sido extraídas de la norma UNE-EN13261:

- Densidad: $7,8 \text{ kg/mm}^3$.
- Módulo de Young: 210 GPa.
- Límite elástico: 350 MPa.
- Resistencia última a tracción: 650 MPa.
- Coeficiente de Poisson: 0,27.
- Material isótropo.

Acero ER7:

Es el material de diseño para las ruedas ferroviarias, hemos obtenido sus principales características en la norma UNE-EN13262:

- Densidad: $7,8 \text{ kg/mm}^3$.
- Módulo de Young: 210 GPa.
- Límite elástico: 520 MPa.
- Resistencia última a tracción: 880 MPa.
- Coeficiente de Poisson: 0,27.
- Material isótropo.

6.2.3. SITUACIÓN DE LAS PIEZAS DE CONJUNTO

El conjunto va a estar formado por el eje y las ruedas montadas sobre él, de forma que la cara interna de las ruedas perteneciente a la superficie del agujero pasante en dirección axial, se encuentre en contacto con la superficie externa de la sección de calaje del eje (Ilustración 6.4).

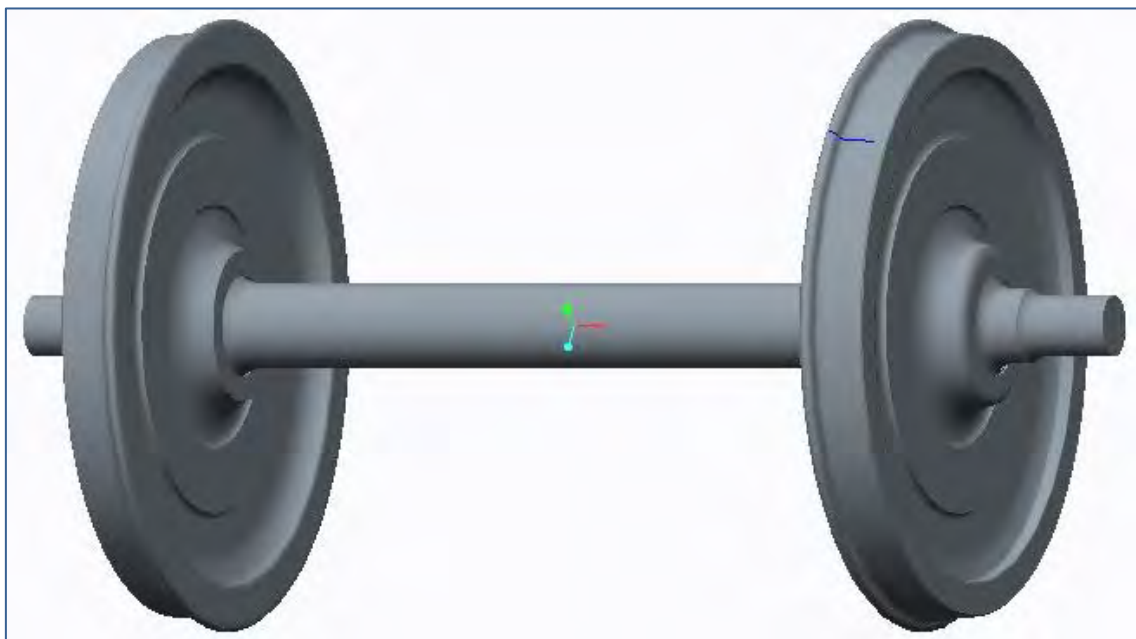


Ilustración 6. 4. Situación de las piezas de conjunto, eje y ruedas

6.2.4. CONDICIONES DE CONTORNO

Tras establecer las piezas que forman el sistema wheelset, sus dimensiones, propiedades y situación física dentro del conjunto, vamos a definir las condiciones de contorno a las que se encuentra sometido.

Lo haremos de manera que sean representativas y fidedignas del comportamiento real del conjunto operando en condiciones de servicio.

De este modo introduciremos esta serie de restricciones:

- Superficie de contacto rueda-raíl: elipse de contacto situada en la cara inferior externa de la banda de rodadura de ambas ruedas (Ilustración 6.5). La superficie de contacto ha sido previamente calculada en apartado teórico.
- Peso propio: carga perteneciente al peso del vehículo ferroviario que se sustenta en última instancia en el wheelset, se situará sobre la superficie semicilíndrica superior externa de las manguetas (Ilustración 6.6). Será por tanto una carga repartida por unidad de superficie establecida según normativa. En total 123kN distribuidos uniformemente en el área semicilíndrica perteneciente a cada mangueta.
- Carga gravitatoria: aplicada sobre todas las piezas de conjunto en la dirección -OY siguiendo el sistema de referencia que aplicaremos, con un valor constante de $9,8 \text{ m/s}^2$.

Inicialmente no situamos ningún tipo de restricción para los diferentes grados de libertad sobre las manguetas del eje, únicamente existía el sistema de cargas tanto de peso propio como gravitatoria, que han sido enunciadas anteriormente.

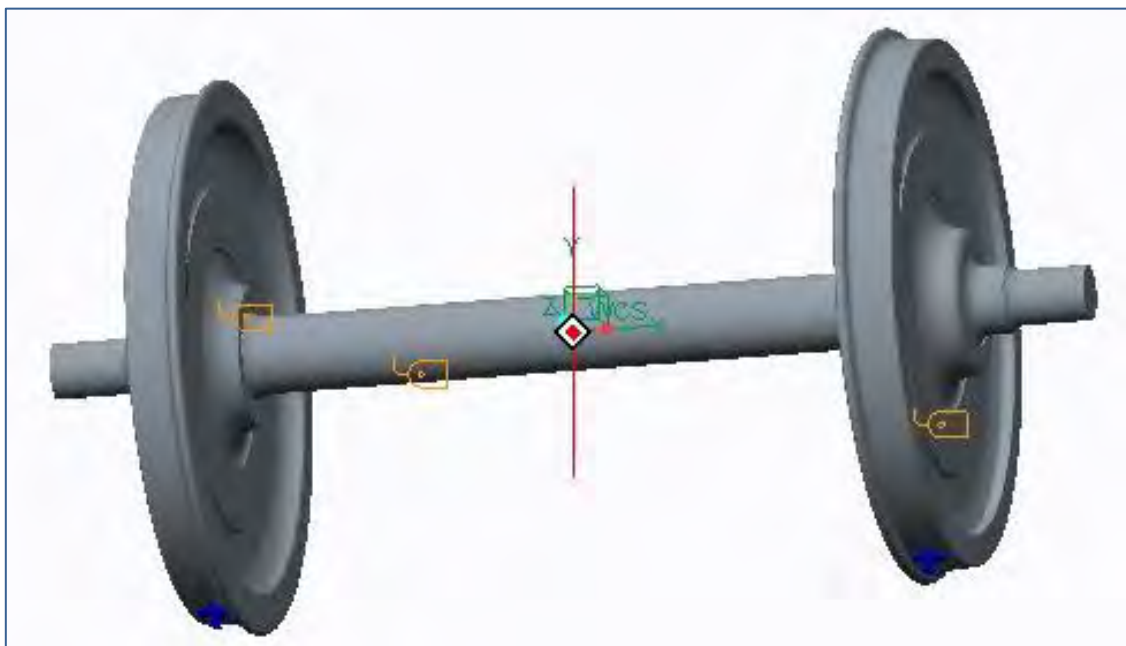


Ilustración 6. 5. Conjunto con restricciones en elipses de apoyo, situadas sobre cara externa de las ruedas

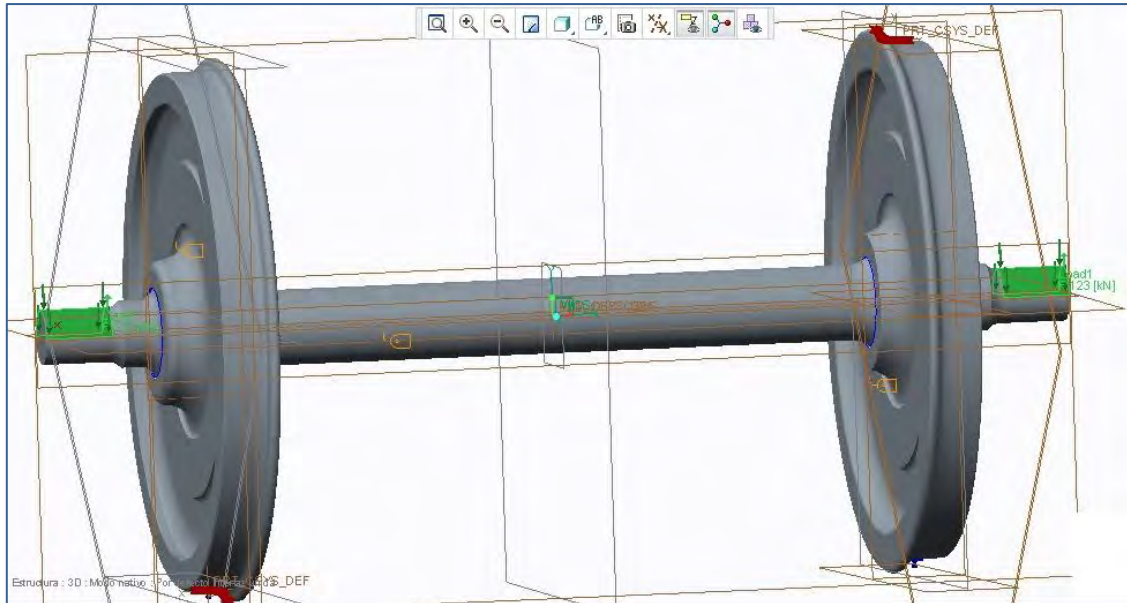


Ilustración 6. 6. Conjunto modelado con restricciones en elipses de apoyo y carga sobre las manguetas

Esto supuso un problema a la hora de llevar a cabo los ensayos de análisis modal y dynamic time, dado que el conjunto no estaba lo suficientemente restringido como para que estos ensayos se pudieran realizar con resultados satisfactorios, obteniendo el siguiente error en el programa (Ilustración 6.7).

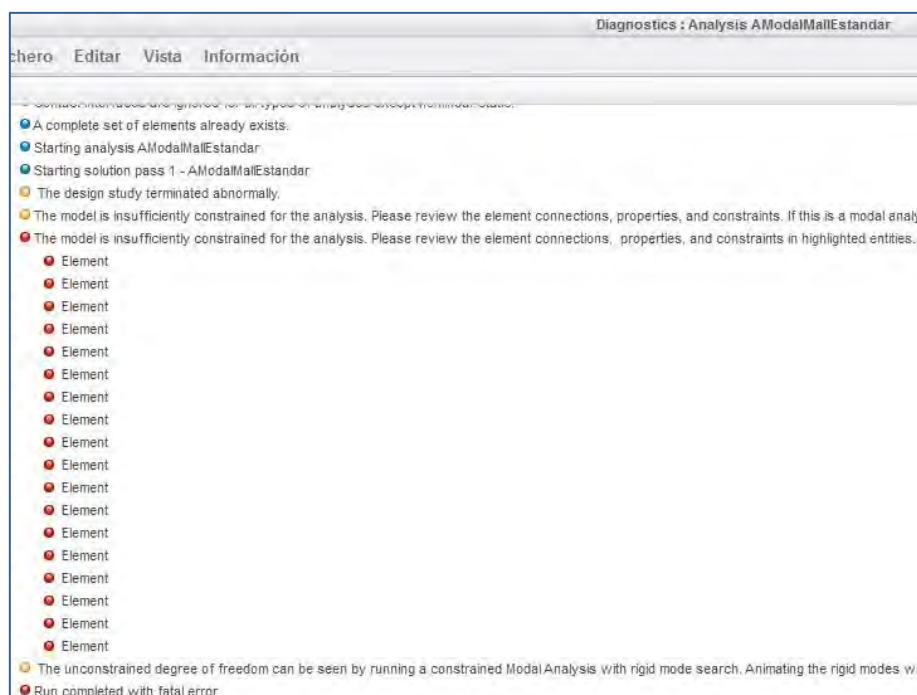


Ilustración 6. 7. Error al ejecutar el análisis modal con el sistema insuficientemente restringido

Como primera solución provisional introducimos un resorte fijo en el punto central del extremo de la mangueta (Ilustración 6.8), pero los resultados obtenidos no se correspondían con los que estábamos buscando, en tanto en cuanto no reflejaban las restricciones que serían propias de este tipo de apoyos de suspensión primaria de un eje ferroviario.

Buscábamos restringir los movimientos del punto central de la base del eje en las direcciones XYZ, permitiendo únicamente pequeños movimientos y giros del eje en estos puntos, de orden de magnitud de diferenciales.

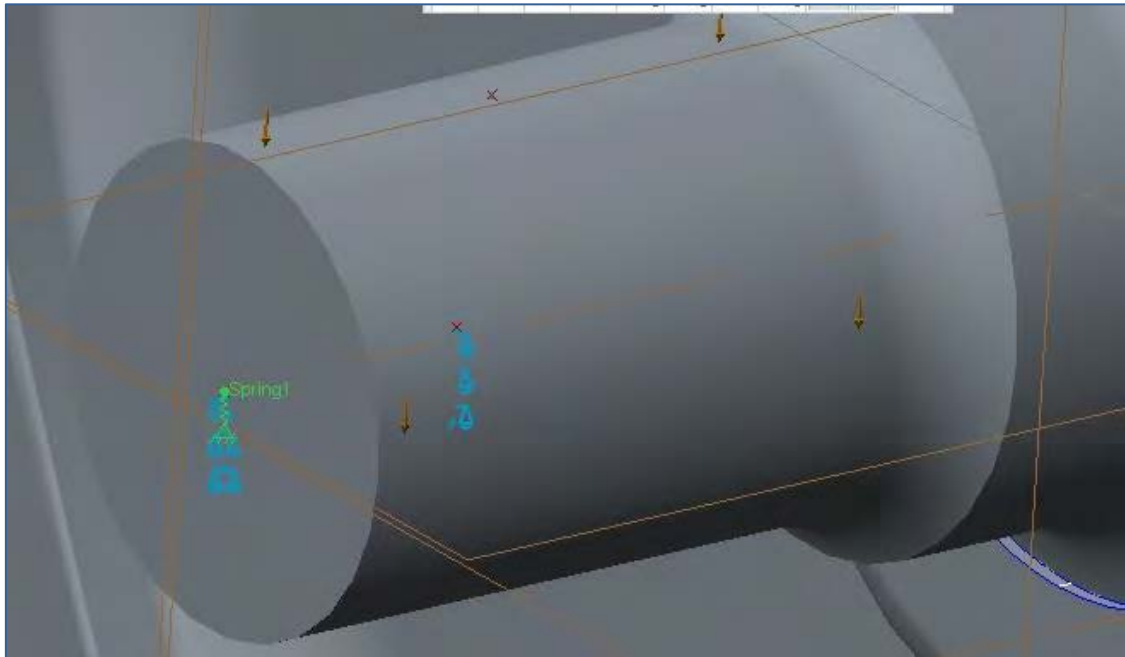


Ilustración 6. 8. 1ª solución, sistema de amortiguamiento con resorte fijo en el extremo de manguetas

La segunda solución que implementamos, resultando ser la definitiva, fue introducir un sistema de suspensión como se explica en el siguiente punto:

Sistema de amortiguación: aplicado sobre la cara externa de las manguetas, simulando la suspensión primaria del vehículo ferroviario, permite un pequeño desplazamiento de las manguetas en los 3 ejes espaciales OX , OY y OZ con respecto a su posición de reposo al aplicar las cargas de peso propio y gravitatoria. Para establecer las principales propiedades del sistema de amortiguación nos hemos guiado por un catálogo del proveedor alemán GMT Products (Tabla 6.1), asociando su comportamiento al de un amortiguador axial ('axle spring' según el fabricante):

Los amortiguadores axiales son unos elementos multitarea destinados a reducir de vibraciones, los metales individuales que forman parte de su estructura se encuentran firmemente unidos mediante capas de elastómero vulcanizado (Ilustración 6.9). Gracias a su simple instalación y larga duración, el muelle de eje es ideal para su uso en aplicaciones ferroviarias de cualquier tipo. Seleccionando los ángulos y el número de uniones de amortiguación así como los ángulos del eje de cojinetes entre sí, existirán 3 rigideces de amortiguamiento diferentes, en función de la dirección. Además el grado de rigidez puede variar también al tratar como parámetro de selección las dimensiones geométricas de las capas individuales y la correspondiente calidad del elastómero.

A través de las siguientes tablas con los productos del proveedor, hemos estimado que el muelle seleccionado es suficientemente robusto y tiene las propiedades dimensionales y de rigidez adecuadas para hacer frente a las condiciones requeridas por nuestro diseño.

Dimensiones:

Tabla 6. 1. Denominación y dimensiones de los diferentes tipos de amortiguadores ofertados

Item Number	B (mm)	B1 (mm)	H (mm)	L (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	Number of steel layers	Figure
601001	100	100	54	205	186	180	3	1
601002	80	80	43,5	208	176	176	3	1
601003	100	100	54	250	216	216	3	1
601004	100	100	57,5	340	310	310	3	1
601005	100,5	140	60	181	171	152	3	5
601008	158	-	95	232	209	181	3	5
602001	62,5	62,5	49,5	152	125	125	4	1
602002	80	80	77	214	182	152	4	3
602003	120	120	94,5	263	213	213	4	1

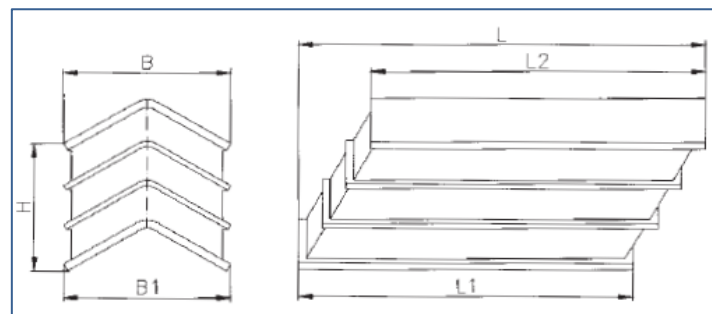



Ilustración 6. 9. Dimensiones del amortiguador axial de la Tabla 6.1.

Parámetros del amortiguador:

Tabla 6. 2. Denominación y dimensiones de los diferentes tipos de amortiguadores ofertados



Axle springs

• Spring parameters:

Values for a pair of axle bearings for an angle of installation of 10°, 12°, 14° and 16° vertically

Item Number	Angle [°]	Values					
		40 Sh-A		50 Sh-A		60 Sh-A	
		Cv [kN/mm]	Fv [kN]	Cv [kN/mm]	Fv [kN]	Cv [kN/mm]	Fv [kN]
601001	10	0.849	14.72	1.138	19.62	1.422	21.47
	12	0.976	15.45	1.305	20.60	1.638	22.66
	14	1.113	16.19	1.491	21.58	1.864	23.74
	16	1.275	16.92	1.707	22.56	2.139	24.81
601002	10	0.759	10.79	1.045	14.22	1.189	15.70
	12	0.917	11.28	1.236	15.21	1.502	16.68
	14	1.070	11.77	1.395	16.19	1.731	17.66
	16	1.203	12.75	1.612	17.17	2.026	18.64
601003	10	0.981	16.19	1.319	22.07	1.667	24.53
	12	1.118	17.17	1.501	23.05	1.884	25.50
	14	1.290	18.15	1.727	24.03	2.168	26.49
	16	1.319	19.13	1.991	25.51	2.497	27.96
601004	10	1.570	26.49	2.099	35.32	2.634	39.24
	12	1.805	27.96	2.418	37.28	3.026	41.20
	14	2.080	29.43	2.786	39.24	3.492	43.16
	16	2.399	30.90	3.213	41.20	4.022	45.13
602001	10	0.310	5.15	0.410	6.85	0.515	7.55
	12	0.345	5.35	0.460	7.15	0.580	7.85
	14	0.390	5.55	0.530	7.45	0.660	8.20
	16	0.445	5.80	0.600	7.75	0.750	8.55

Seleccionamos el sistema de amortiguamiento denominado 601004 (Tabla 6.2), 60 Sh-A, por ser el equipo ofertado con mayor nivel de rigidez ofertado. De este modo ya tenemos las características necesarias para simular el sistema de amortiguación primaria (Ilustración 6.10):

- Rigidez extensional de los resortes (K_{xx} , K_{yy} , K_{zz}): $4,022 \times 10^{10}$ N/m
- Rigidez torsional de los resortes (T_{xx} , T_{yy} , T_{zz}): $4,022 \times 10^9$ mm².kg/(s².rad)

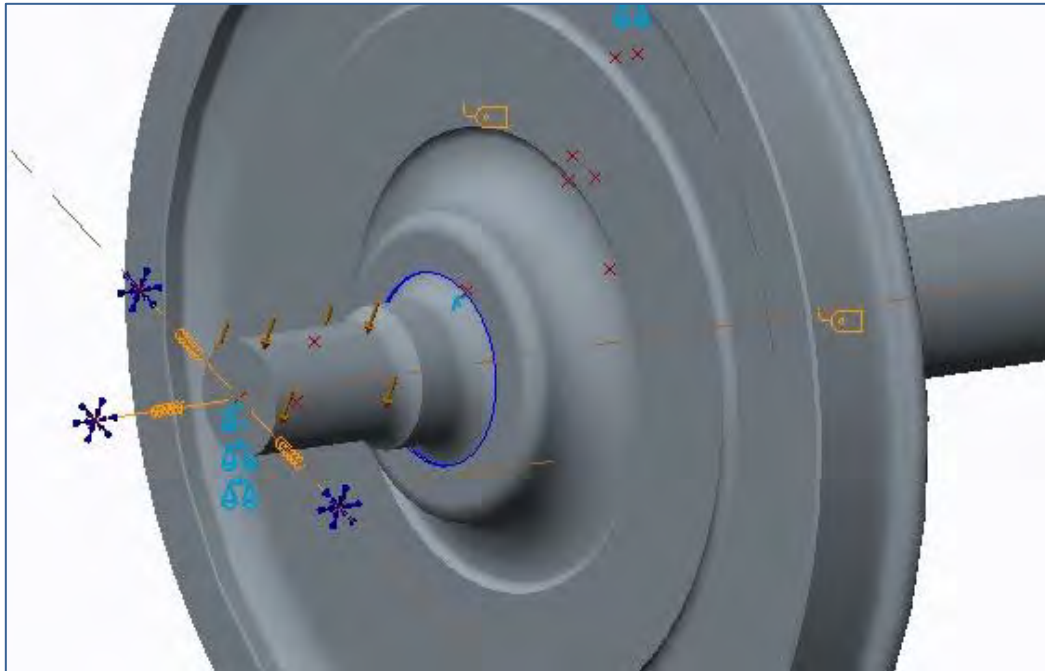


Ilustración 6. 10. Sistema de amortiguación primaria implementado en Creo Elements/PRO

6.2.5. GEOMETRÍA Y LOCALIZACIÓN DE LAS GRIETAS

A lo largo de la dimensión longitudinal del eje, existen diversas secciones candidatas a ser la sección en la que se produzca en primera instancia el fallo mecánico del componente tras operar realizando un número determinado de ciclos bajo las condiciones de carga, generalmente uniformes, pero con variaciones debido a las diferentes casuísticas que se encuentren los componentes del wheelset a lo largo del trazado ferroviario, como por ejemplo al describir curvas o encontrarse irregularidades en el mismo; esta será denominada como sección crítica. Hemos decidido acotar nuestro campo de estudio para 2 de estas secciones ya que consideramos que son las principales candidatas y entendemos que es una amplitud suficiente para toda la variedad de grietas a introducir. En estas secciones introduciremos diferentes niveles de fisuración, aumentando el porcentaje de grieta con respecto a la sección global del eje en ese punto, para observar la respuesta estructural de todo el conjunto desde el punto de vista que nos interesa en nuestro estudio, que son los análisis modales de las frecuencias propias de vibración y la variación de las magnitudes cuya información es relevante y nos aporta datos de interés.

Estas magnitudes serán evaluadas en una serie de puntos representativos del eje y las ruedas, que no tienen por qué coincidir necesariamente con aquellas secciones en las que introducimos la grieta, sino que estarán repartidos a lo largo de los componentes para aportar una visión global de cómo y cuánto repercute la inclusión de pequeños defectos en cada punto de los componentes.

Defecto en sección transversal media del eje (Grieta Central):

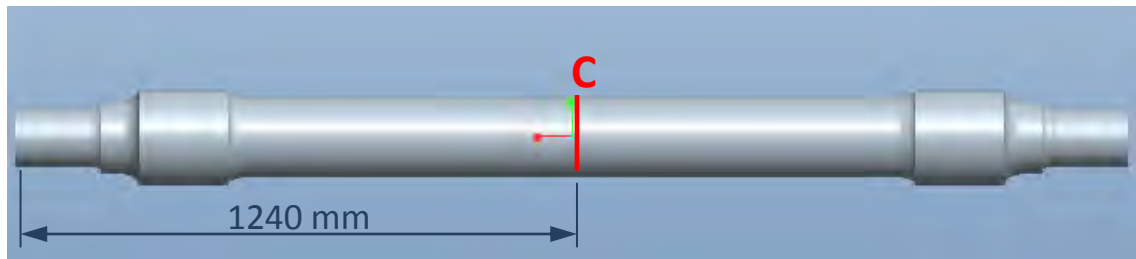


Ilustración 6. 11. Localización del defecto central

Nos situaremos en la sección central del eje (Ilustración 6.11) que tiene unas dimensiones indicadas en la Tabla 6.3, y en la que iremos introduciendo una serie de fisuras con la profundidad seleccionada, para de este modo ir observando la respuesta de las magnitudes evaluadas sobre nuestro conjunto.

Tabla 6. 3. Niveles de defecto en sección transversal media del eje

Parámetros de estudio		
Radio	Diámetro	Sección
90mm	180mm	25446,90mm ²

Características niveles de defecto en la sección transversal media				
Nivel de defecto	Profundidad (mm)	Porcentaje del Radio (%)	Porcentaje del Diámetro (%)	Porcentaje de Sección (%)
I	18	20%	10%	5,20%
II	36	40%	20%	14,24%
III	54	60%	30%	25,23%
IV	72	80%	40%	37,35%
V	90	100%	50%	50,00%

Defecto en sección transversal situada en el ajuste interior medio del eje (Grieta Lateral):

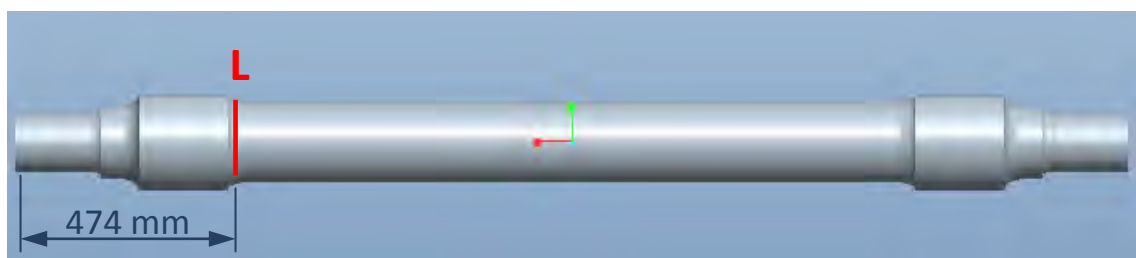


Ilustración 6. 12. Localización del defecto lateral

Procederemos del mismo modo que en la sección central del eje, pero esta vez en un punto de concentración de tensiones, como lo es el cambio de diámetro interior del eje, que supone la zona cuya superficie exterior es un radio de acuerdo entre el fuste central y la sección de calaje (Ilustración 6.12). Las características de cada nivel de defecto se observan en la Tabla 6.4.

Tabla 6. 4. Niveles de defecto en sección transversal, en ajuste interior medio del eje

Parámetros de estudio		
Radio	Diámetro	Sección
93,86mm	187,72mm	27676,49mm ²

Características niveles de defecto sección transversal ajuste interior				
Nivel de defecto	Profundidad (mm)	Porcentaje del Radio (%)	Porcentaje del Diámetro (%)	Porcentaje de Sección (%)
I	18,78	20%	10%	5,21%
II	37,54	40%	20%	14,24%
III	56,32	60%	30%	25,23%
IV	75,09	80%	40%	37,35%
V	93,86	100%	50%	50,00%

6.3. ANÁLISIS MODAL DEL CONJUNTO WHEELSET

Una vez que tengamos definidas nuestras piezas, su situación en el conjunto, los materiales utilizados, las restricciones y el sistema de cargas, el mallado y los niveles de defecto establecidos anteriormente, vamos a realizar los ensayos modales. Procederemos a realizar un análisis por cada nivel de defecto, comprendiendo siempre los 10 primeros modos de vibración del sistema. Observaremos como se modifica la frecuencia de cada modo en función de la localización y profundidad de la grieta introducida.

Llegamos a la determinación de trabajar con 10 modos de vibración debido a que es un número suficientemente amplio para tener consistencia en la elaboración y coherencia de los resultados y abarcable para la toma de datos.

6.4. DYNAMIC TIME

Además de realizar los ensayos modales del wheelset para los diversos niveles de defecto en el eje, vamos a estudiar cómo se comporta nuestro sistema ante la introducción de cargas impulsivas de tipo senoidal, que Creo Elements/PRO denomina análisis dynamic time.

La expresión con la que trabajaremos será una función del tipo: $f(x) = \sin(x)$

En la que x, es una expresión que depende varios parámetros: $x = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t$

Donde t es el tiempo que será función del programa (de 0s a 1s) y f será la frecuencia iremos variando. Lo haremos estableciendo los parámetros de velocidad máxima aproximada que puede alcanzar un tren de cercanías, en torno a los 250 km/h y el radio medio de la rueda, 0.650 m. De modo que:

$$v = \omega \cdot R \rightarrow \omega = \frac{250 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{\text{km}}}{3600 \text{ s/h}} \rightarrow \omega = 106,84 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \rightarrow f = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} = \frac{106,84}{2 \cdot \pi} \rightarrow f = 17 \text{ Hz}$$

Decidimos finalmente tomar valores de f cada 10 Hz, partiendo desde 0 hasta 110 Hz (algo más de 6 veces la frecuencia de giro máxima). Por lo tanto, realizaremos 10 dynamic time para cada análisis modal.

Posteriormente extraeremos datos de los 6 puntos característicos establecidos de eje y rueda, mediante las magnitudes desplazamiento, tensión y aceleración, para cada uno de los ensayos impulsivos realizados. Obteniendo una gran amplitud de datos que sintetizaremos mediante las variables estadísticas.

6.5. RESULTADOS PREVISTOS

Por un lado, en los análisis modales, esperamos observar una disminución en el valor de la frecuencia de cada modo de vibración a medida que el defecto introducido en el eje va aumentando de tamaño.

En cuanto a los estudios dynamic time, vamos a ir excitando frecuencias naturales al aplicar cargas impulsivas sinusoidales sobre nuestro conjunto. Teóricamente vamos a modificar las frecuencias que se excitan y la amplitud de las mismas, al incorporar los defectos o pequeñas grietas.

Existe la posibilidad de que esta observación teórica no se refleje al realizar nuestros análisis en el programa Creo Elements/PRO; o que se refleje pero luego a la hora de llevarlos a cabo sobre un conjunto wheelset real, no sea apreciable por las propias interferencias de los equipos de medida. Por ello vamos a reforzarlo con la toma de datos de las magnitudes anteriormente mencionadas para los puntos característicos del conjunto y pasarlo por el tamiz de las variables estadísticas. La utilización de la estadística nos va a permitir analizar los valores y tendencias de las magnitudes en función de los ensayos modales, las cargas impulsivas y los niveles de defecto. Si no hacemos uso de estas variables corremos el riesgo de perder visibilidad general sobre el estudio y quedarnos únicamente con interpretaciones puntuales.

6.6. SIMPLIFICACIONES CONSIDERADAS

Vamos a analizar el comportamiento del conjunto Wheelset de forma aproximada a la realidad, con ciertas simplificaciones que nos ayuden a poder llevar a cabo el proyecto:

- El estudio comprende los primeros 10 modos de vibración existentes en Creo Elements/PRO, abarcando frecuencias desde 0 a casi 250 Hz; trabajaremos con el conjunto sometido a las restricciones que hemos establecido, como son las elipses de apoyo y el sistema de amortiguación.
- A la hora de introducir cargas impulsivas o dynamic time, utilizaremos funciones de tipo senoidal, en un rango de frecuencias de 0 a 110 Hz con intervalos de 10 Hz. Estas funciones no siempre serán de este tipo en la realidad, ya que puede existir ruido asociado a las vibraciones de los elementos mecánicos.
- Utilizaremos un mallado determinado con una precisión limitada (se muestra en el capítulo siguiente) y un nivel de convergencia de los análisis en torno al 5%. Así nos adaptaremos a la capacidad de computación de nuestros equipos informáticos, buscando no causar impacto en la precisión de los resultados.





CAPÍTULO 7

Desarrollo del proyecto



7.1. MODELADO DE LAS PIEZAS

El Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Carlos III de Madrid nos ha facilitado el diseño de los modelos normalizados de eje y rueda ferroviaria, con las características geométricas descritas en el Anexo A. PLANOS.

Estos diseños 3D ya se habían realizado previamente para dar soporte a diversos trabajos de investigación, dentro del entorno Creo Elements/PRO. No obstante y para tener un soporte fidedigno, se volvieron a diseñar nuevamente las piezas del conjunto.

Diseño del eje ferroviario:

Vamos a trabajar en el *Módulo Estándar* de Creo Parametric/PRO. Una vez dentro de este módulo, vamos a definir el directorio de trabajo, buscando en el navegador que nos ofrece el software, a través de la ruta en la que tengamos situada la carpeta de documentos. En ella se va a ir almacenando todo el progreso de nuestro diseño.

Una vez establecida la ruta y el directorio, vamos a fichero, Nuevo, y en el menú que se nos despliega seleccionamos Pieza. De esta forma se generará una pieza sólida 3D (.prt).

Seleccionamos en primer lugar el plano para trazar un esbozo 2D de nuestra pieza (Ilustración 7.1), que nos servirá como perfil de revolución para generar la pieza 3D (Ilustración 7.2).

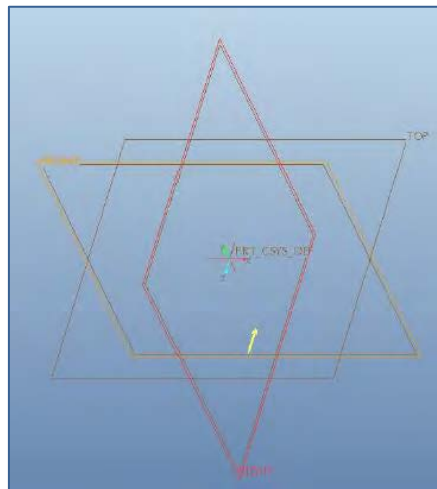


Ilustración 7. 1. Plano de trabajo

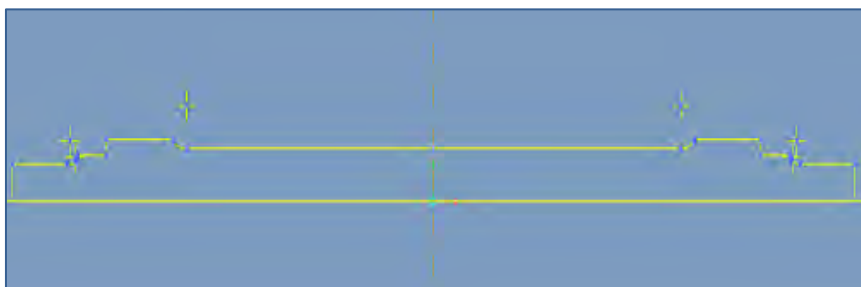


Ilustración 7. 2. Esbozo 2D del eje

Podemos observar las dimensiones de nuestro dibujo 2D y modificarlas si fuese necesario, para adaptarlas a las del eje normalizado (Ilustración 7.3).

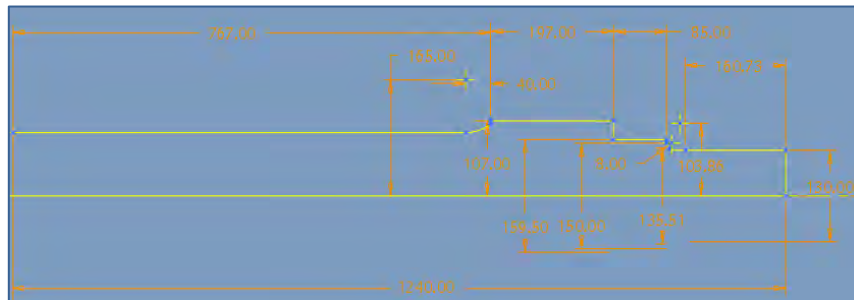


Ilustración 7.3. Cotas del esbozo 2D del eje

Una vez diseñado de forma correcta el esbozo 2D, generamos mediante la herramienta de revolución el diseño 3D final del eje (Ilustración 7.4).

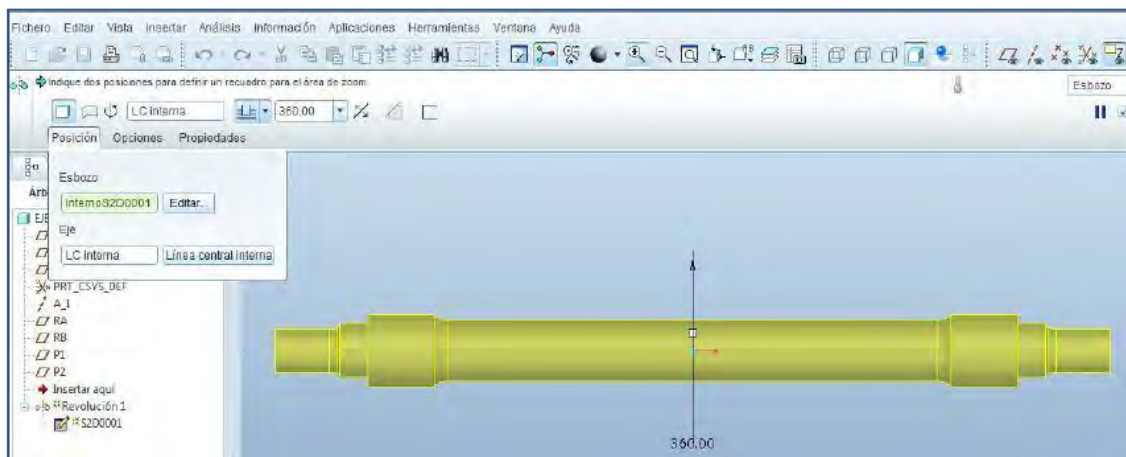


Ilustración 7.4. Diseño 3D inicial del eje

Ahora que hemos definido el eje 3D, vamos a introducir los detalles que nos faltan para establecer la geometría normalizada definitiva. Así, introduciremos los redondeos y suavizados en los cambios de sección. Para ello vamos a *Insertar Redondeo* en las aristas seleccionadas. Como se muestra en la Ilustración 7.5.

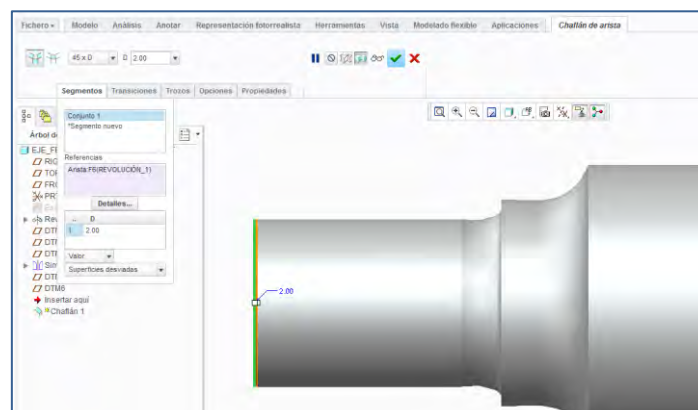


Ilustración 7.5. Introducción de redondeos en el eje

Tras seguir estos pasos ya tenemos definido de forma completa nuestro eje ferroviario normalizado (Ilustración 7.6).

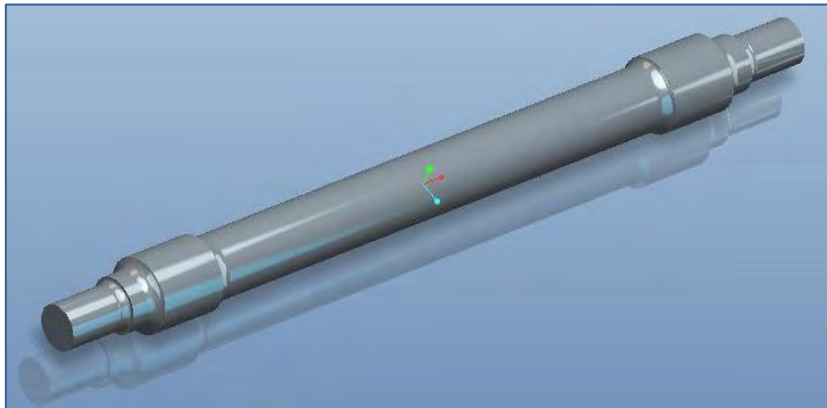


Ilustración 7. 6. Diseño final del eje

Diseño de la rueda ferroviaria:

Para diseñar la rueda, vamos a proceder del mismo modo que para el modelado del eje. A excepción de los redondeos y suavizados que no será necesario introducir en este caso. Cabe destacar que al igual que en el eje, tenemos la geometría rueda completamente descrita en el Anexo A. Planos. Comenzamos realizando un esbozo 2D, mediante la pestaña Modelo, Esbozo.

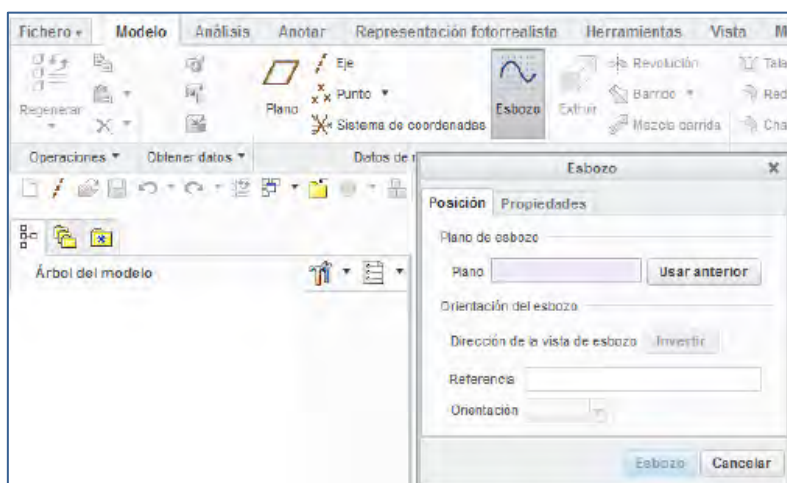


Ilustración 7. 7. Esbozo 2D de la rueda

Al igual que para el eje dejamos definida sobre uno de los planos la geometría de la sección transversal de la rueda (Ilustración 7.7).

Una vez definida la geometría de la rueda vamos a extruir la pieza, mediante la opción revolución. Definimos el eje de revolución y generaremos nuestra pieza 3D como se observa en la ilustración 7.8. De este modo tenemos completamente definida la rueda ferroviaria en el programa.

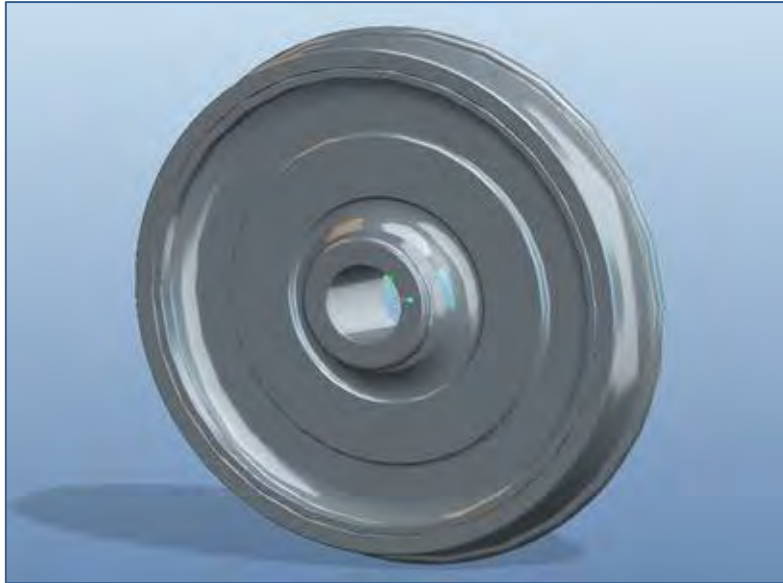


Ilustración 7. 8. Diseño final de la rueda

7.2. ENSAMBLAJE

Accedemos al entorno Simulate y nos vamos a la pestaña Refinar modelo. Una vez allí desplegamos el menú Interface y ejecutamos Detect Contacts (Ilustración 7.9).

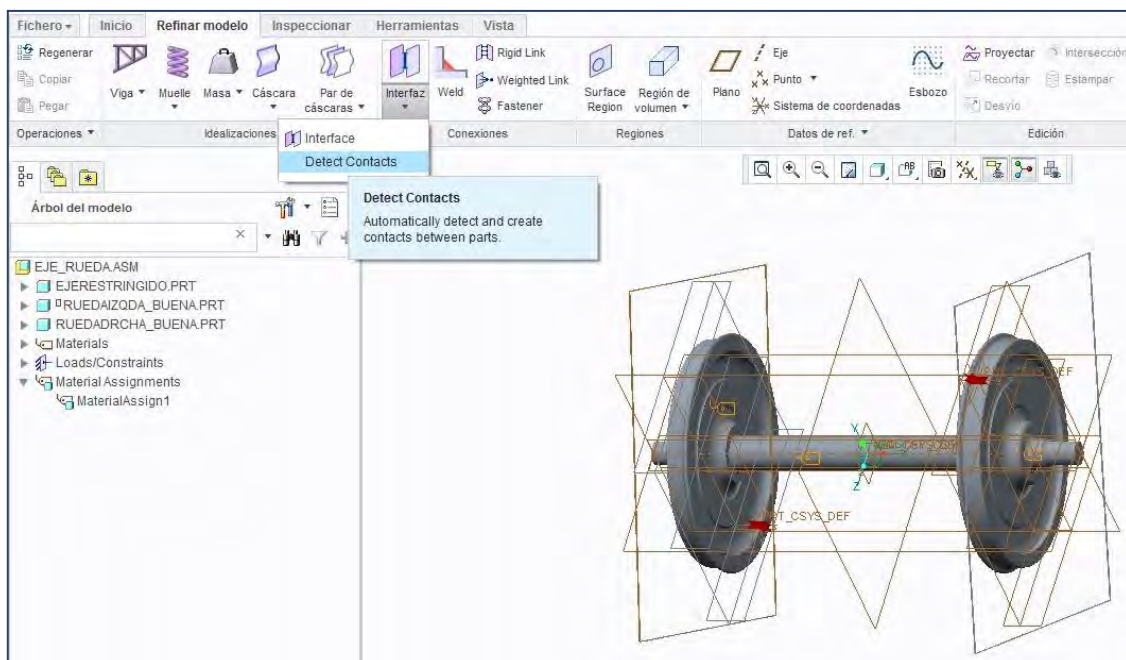


Ilustración 7. 9. Generación de contactos entre piezas

Ahora mediante el cursor izquierdo del ratón + Ctrl seleccionamos las piezas que se encuentran en contacto, es decir, el eje con una de las dos ruedas (Ilustración 7.10). Posteriormente repetiremos el proceso con la rueda que no hayamos seleccionado.

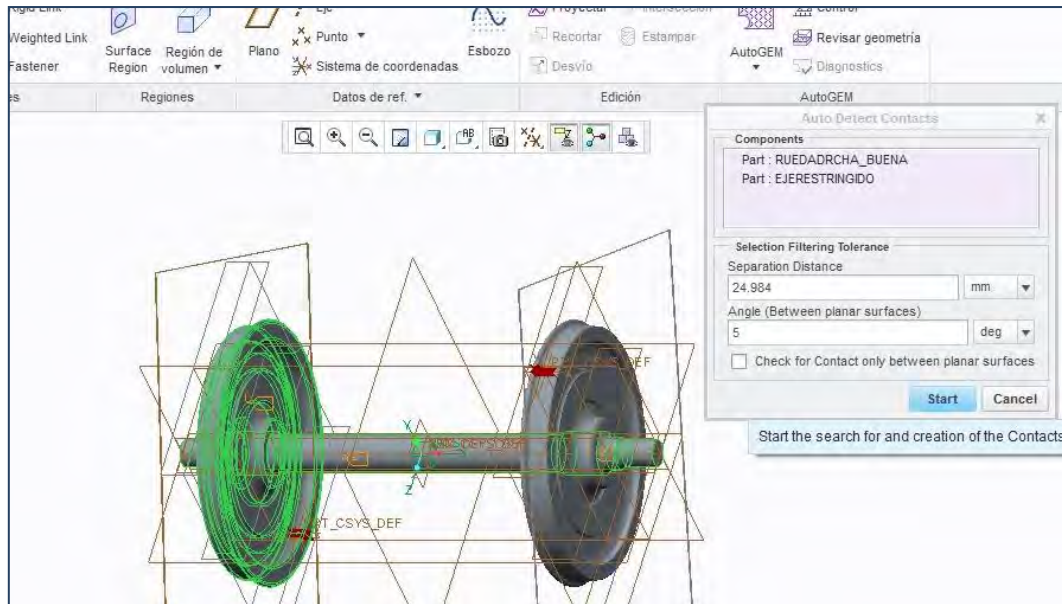


Ilustración 7. 10. Selección eje + rueda para conectarlas

Podemos observar el interfaz entre ambos elementos así como la existencia de las conexiones que acabamos de crear en el menú de árbol del modelo (en la parte izquierda de la imagen) como “Connections” (Ilustración 7.11).

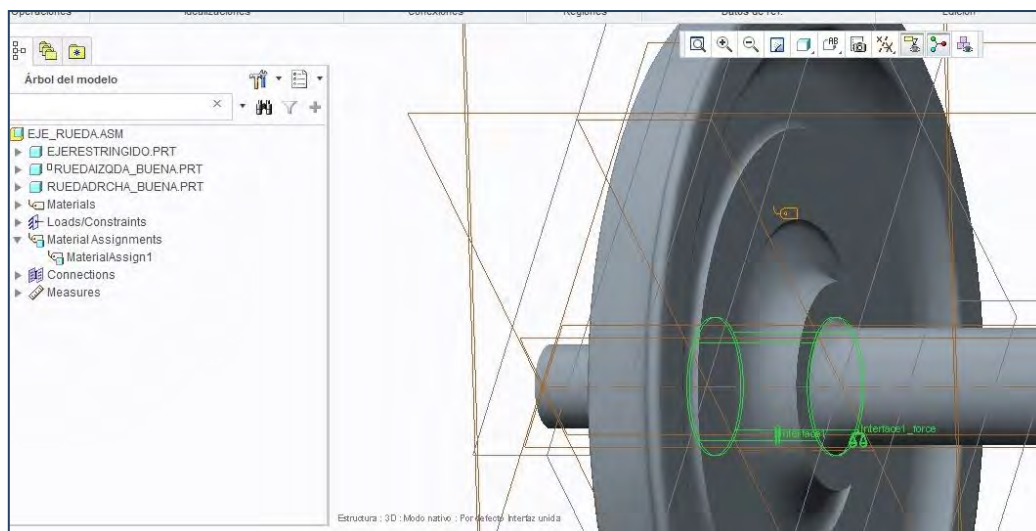


Ilustración 7. 11. Superficie de contacto entre piezas

Observamos que al realizar los análisis modales con este tipo de contacto entre piezas surgía el siguiente mensaje de error (Ilustración 7.12), que nos indicaba que no estaban suficientemente restringidos los grados de libertad para ejecutar un ‘Análisis Modal Restringido con modo de búsqueda rígido’.

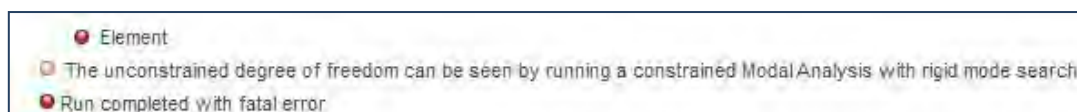


Ilustración 7. 12. Mensaje de error por falta de restricciones

Para el correcto funcionamiento de los análisis modales en el programa; y una vez establecidos los contactos entre piezas, comprobamos que eje y rueda deben responder al tipo de contacto 'bonded'. Por lo tanto, editamos la definición de los contactos, dentro de árbol de modelo, connections, desplegando interfaces y la modificamos, como podemos observar en las siguientes imágenes (Ilustraciones 7.13 y 7.14).

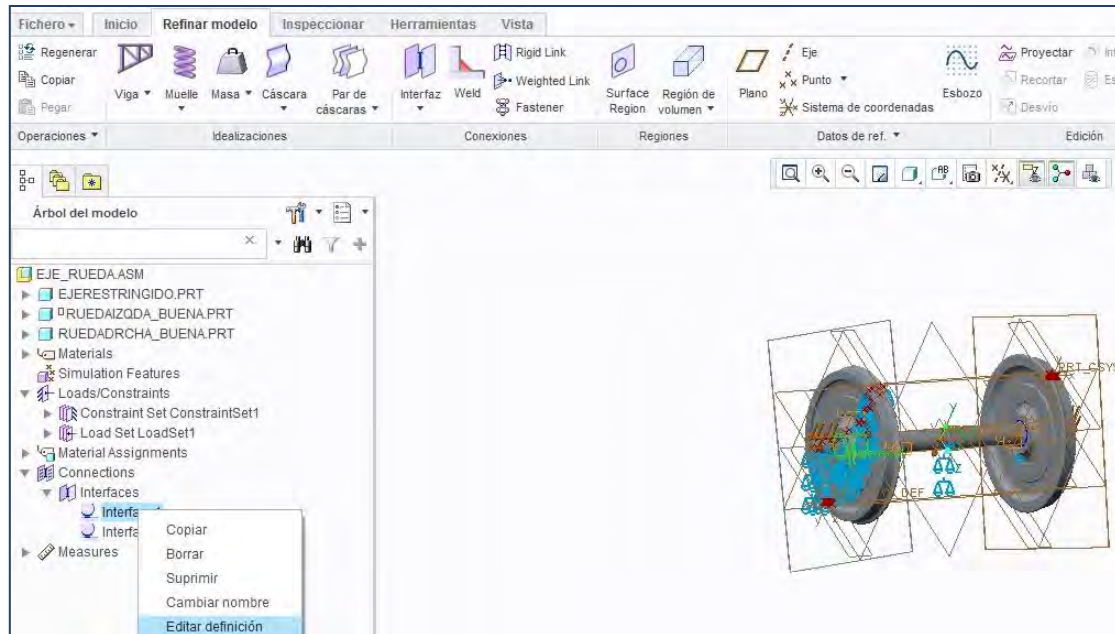


Ilustración 7. 13. Editar contactos entre piezas

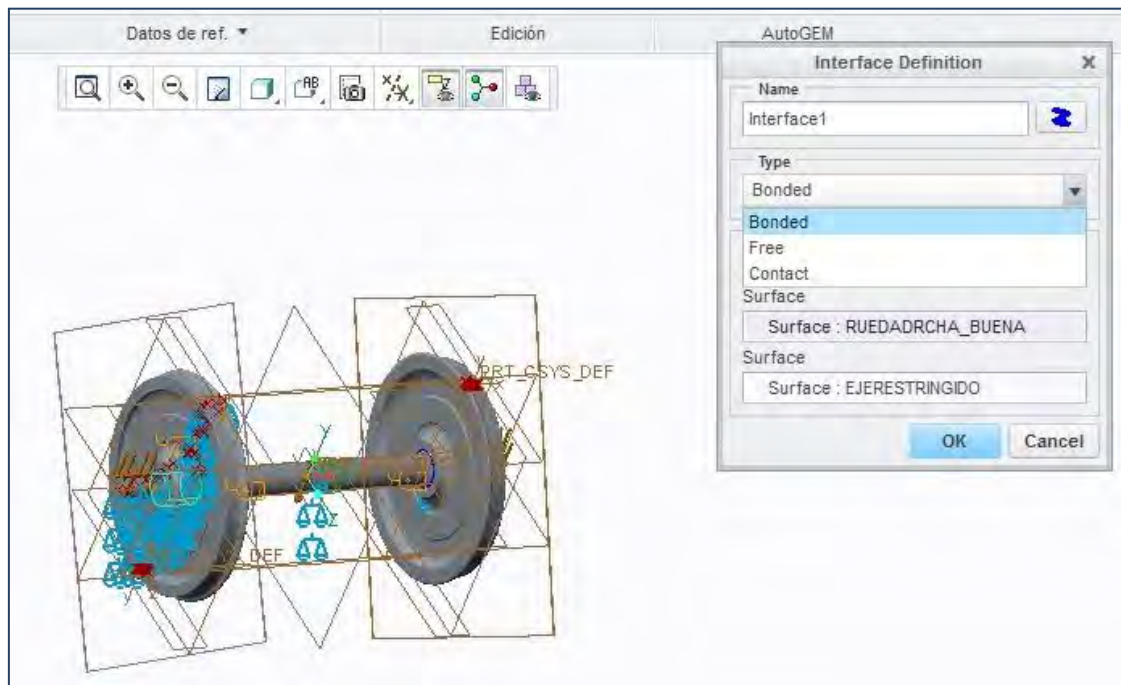


Ilustración 7. 14. Tipo de contacto 'soldado'

7.3. GENERACIÓN DE LAS ELIPSES DE APOYO

En primer lugar nos situamos en Aplicaciones y entramos en el entorno Simulate. Después nos movemos a la pestaña Refinar modelo y seleccionamos el apartado Surface Region (Ilustración 7.15). Se nos despliega una nueva ventana de comandos en la que elegiremos definir por esbozo y seleccionaremos el plano tangencial a la rueda. Hemos de tener en cuenta que la zona de contacto con el raíl se va a generar en la parte inferior de la rueda, por lo tanto el plano tangencial a la superficie externa de la rueda va a estar situado en el eje y negativo de nuestro sistema de referencia global de conjunto.

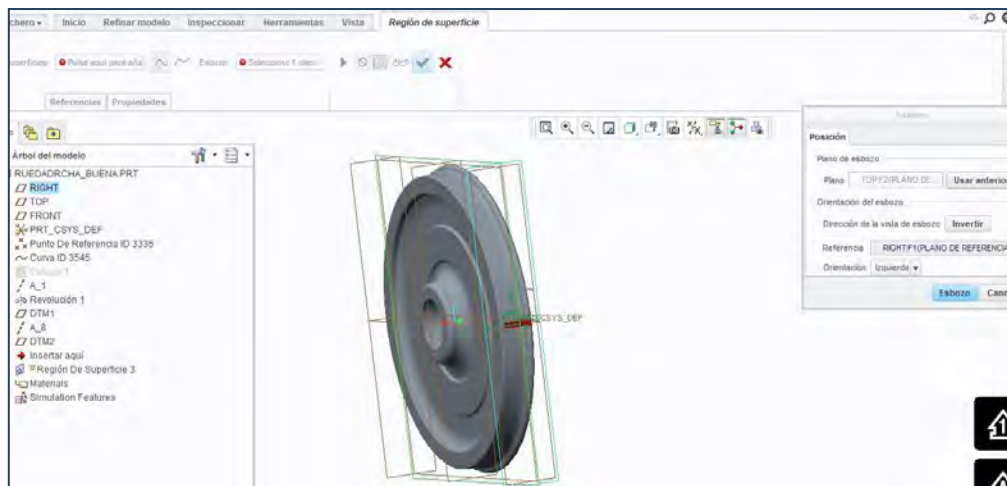


Ilustración 7. 15. Accedemos a Surface Region y seleccionamos esbozo

Una vez seleccionado el plano deseado, clicamos en Esbozo y procedemos a crear la superficie de contacto que como hemos visto en la teoría estudiada, se va a corresponder con una elipse (Ilustración 7.16). El hecho tener conocimiento de sus dimensiones, no va a ser importante inicialmente puesto que podemos editar las cotas como mostraremos a continuación. La definiremos mediante la situación de su centro en el punto requerido, de su eje mayor de valor $2a$ en la dirección longitudinal de la rueda y de su eje menor $2b$, en la dirección transversal de la misma.

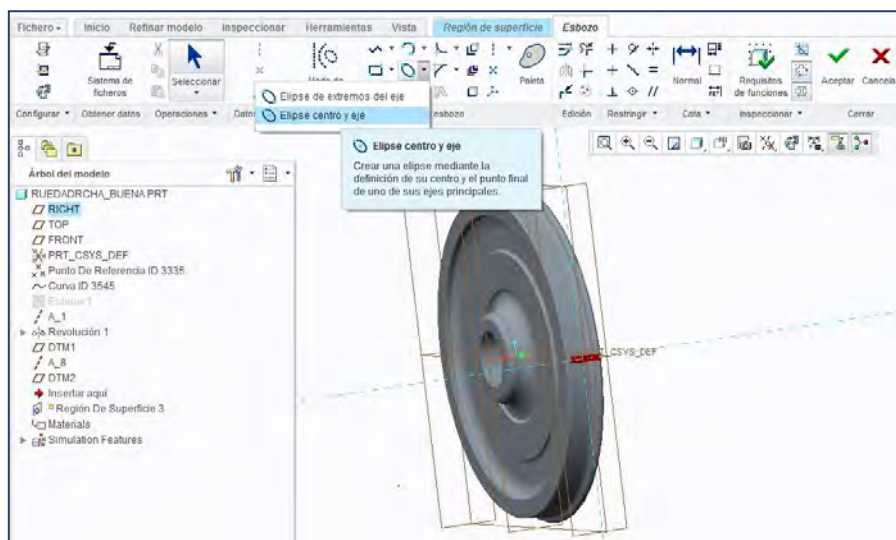


Ilustración 7. 16. Introducimos las elipses de apoyo

Una vez generada la elipse podemos editar sus parámetros principales, para ello desplegamos en el menú de Árbol del modelo la pestaña Simulation Features y editamos Región de Superficie 2, ahora podemos actualizar el valor de las cotas de los ejes principales de la elipse y ajustarlo a lo estudiado en la teoría (Ilustración 7.17).

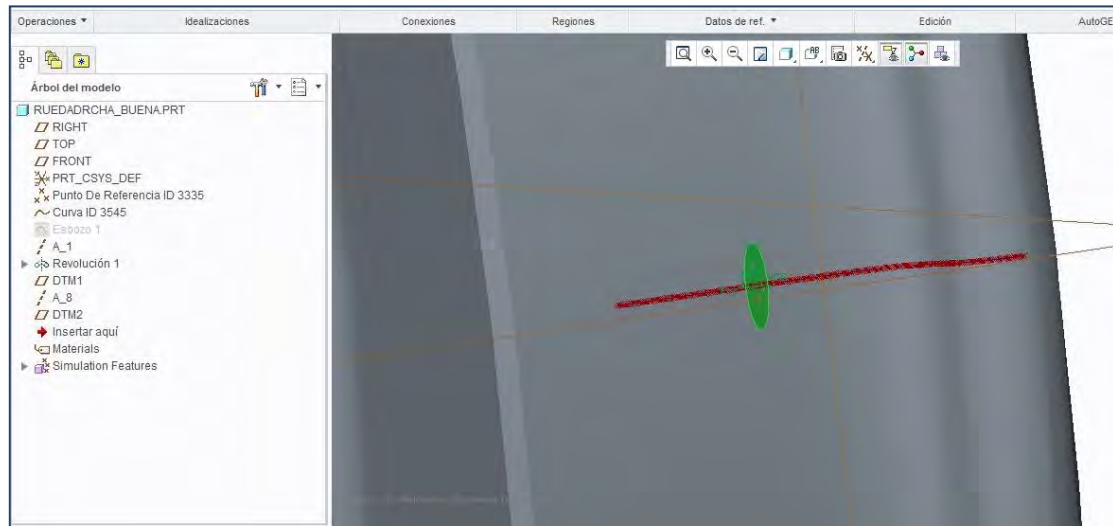


Ilustración 7. 17. Situación de las elipses de apoyo

7.4. INTRODUCCIÓN DE LAS RESTRICCIONES

7.4.1. RESTRICCIONES EN LAS ELIPSES DE APOYO

En primer lugar vamos a Aplicaciones y entramos en el entorno Simulate. Nos situamos sobre la pestaña Inicio y en ella Displacement (Ilustración 7.18).

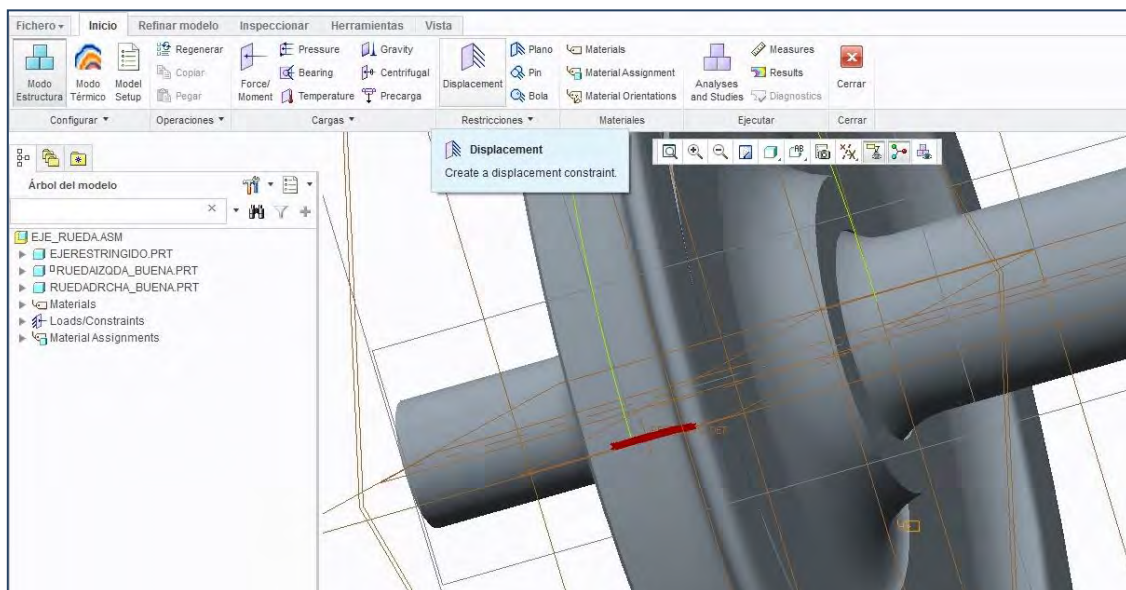


Ilustración 7. 18. Introducción de restricciones en las elipses

Seleccionamos la elipse de apoyo y aceptamos clicando en ok (Ilustración 7.19).

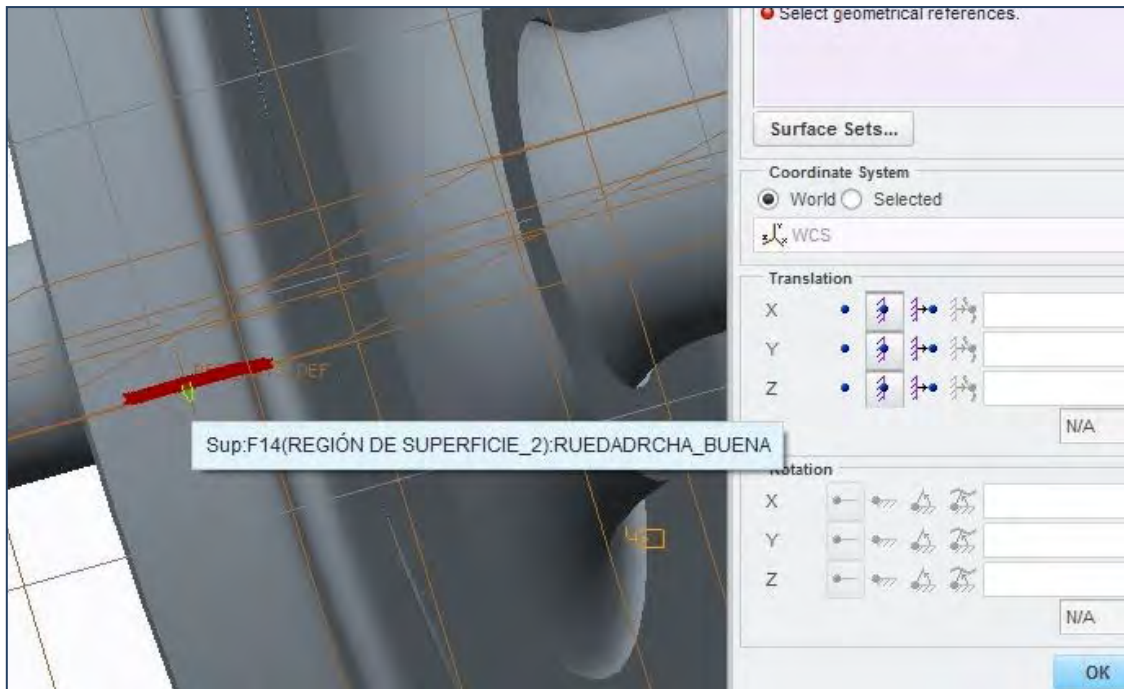


Ilustración 7. 19. Simulamos un empotramiento en las elipses

Ahora ya tenemos creada nuestra restricción en forma de empotramiento sobre la superficie de contacto entre la rueda y el raíl. Repetimos este proceso en la otra rueda de forma que ya tenemos situadas las restricciones requeridas sobre nuestro sistema (Ilustración 7.20).

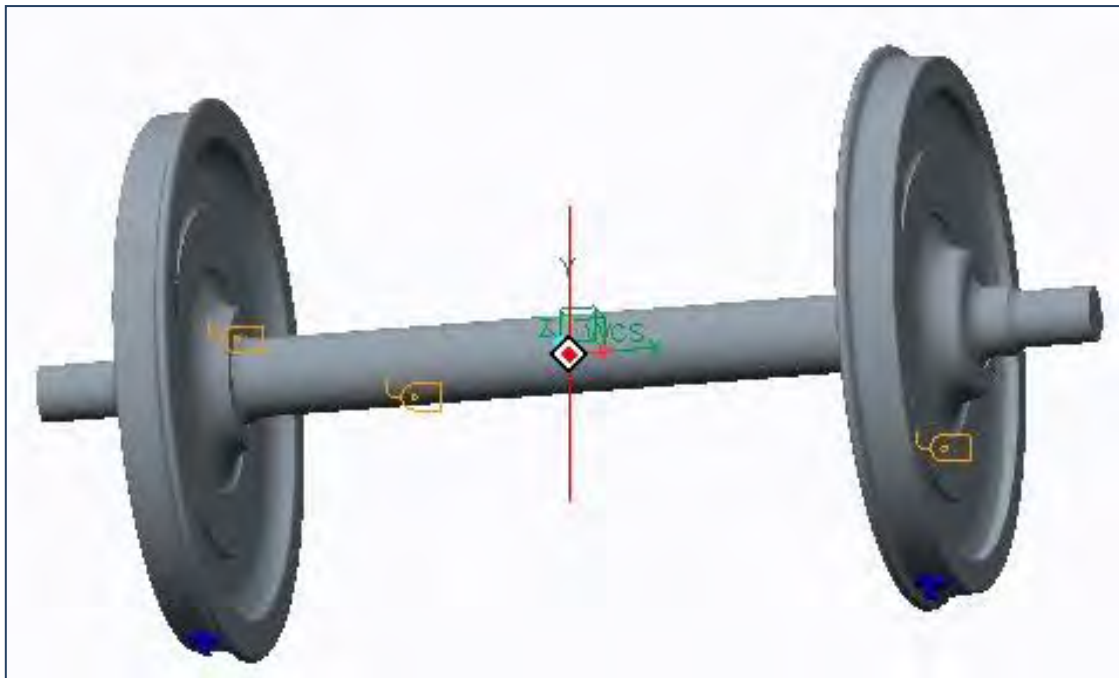


Ilustración 7. 20. Observamos las elipses de apoyo con las restricciones

7.4.2. RESTRICCIONES EN LAS MANGUETAS

Vamos a consistir en el sistema de suspensión primaria que definimos previamente con todas sus características. Para introducirlo, definiremos 3 puntos en el espacio situados con cierta separación y de forma equidistante respecto al punto central del extremo del eje; punto destacado en azul en la Ilustración 7.21. Estos 3 puntos, situados en el mismo plano horizontal que el punto del eje al que anclaremos nuestra suspensión, nos van a servir como puntos base de fijación de los resortes, simulando puntos de chasis de bogie, por lo que serán 3 empotramientos, estructuralmente hablando.

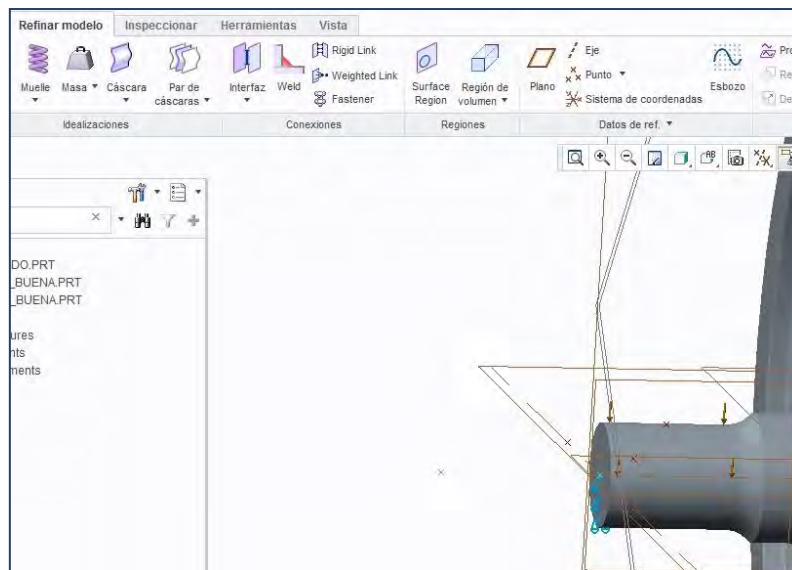


Ilustración 7. 21. Introducción de los resortes

Introduciremos los 3 resortes situados en las direcciones 'OX' y 'OY', serán de tipo simple, con referencias punto a punto y tendrán las propiedades y rigidez establecidas previamente en el apartado de metodología (Ilustración 7.22).

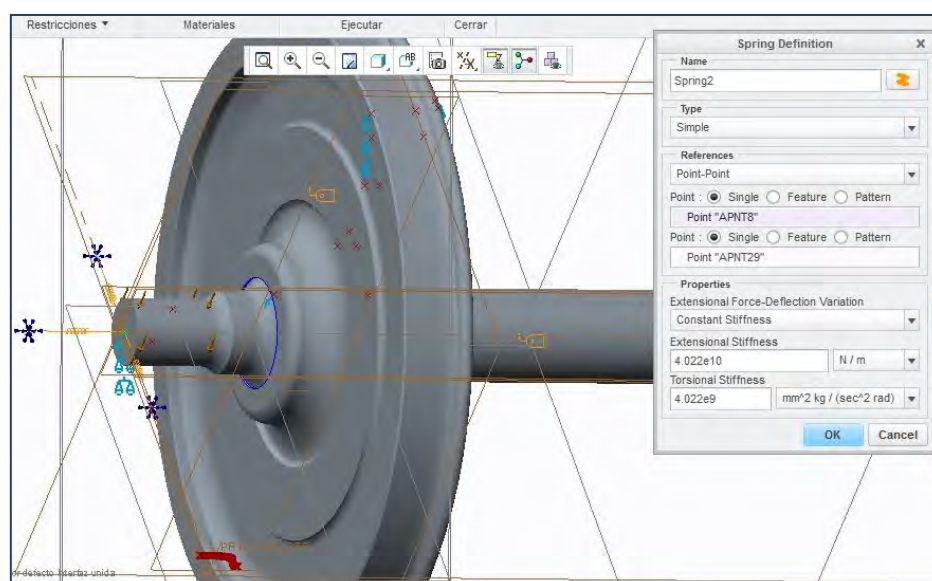


Ilustración 7. 22. Características de los resortes

Podemos observar el resultado final de la restricción en las manguetas del eje a modo de sistema de suspensión primaria (Ilustración 7.23).

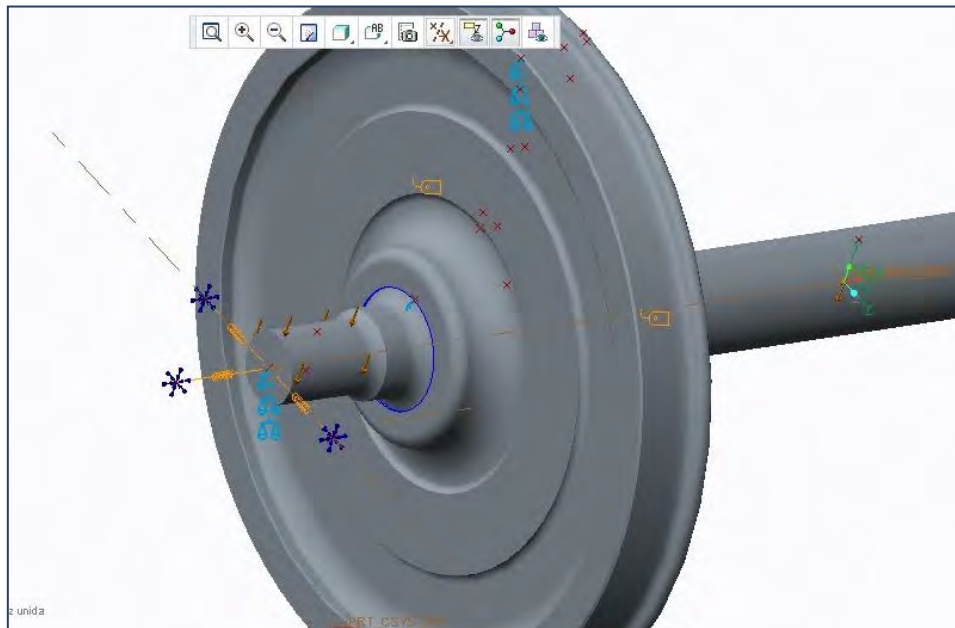


Ilustración 7.23. Resortes definidos con empotramientos en los extremos

7.5. DEFINICION DE LOS MATERIALES PARA RUEDA Y EJE

Material para eje:

Tras acceder al entorno Simulate, vamos a la pestaña Inicio y seleccionamos Materials (Ilustración 7.24).

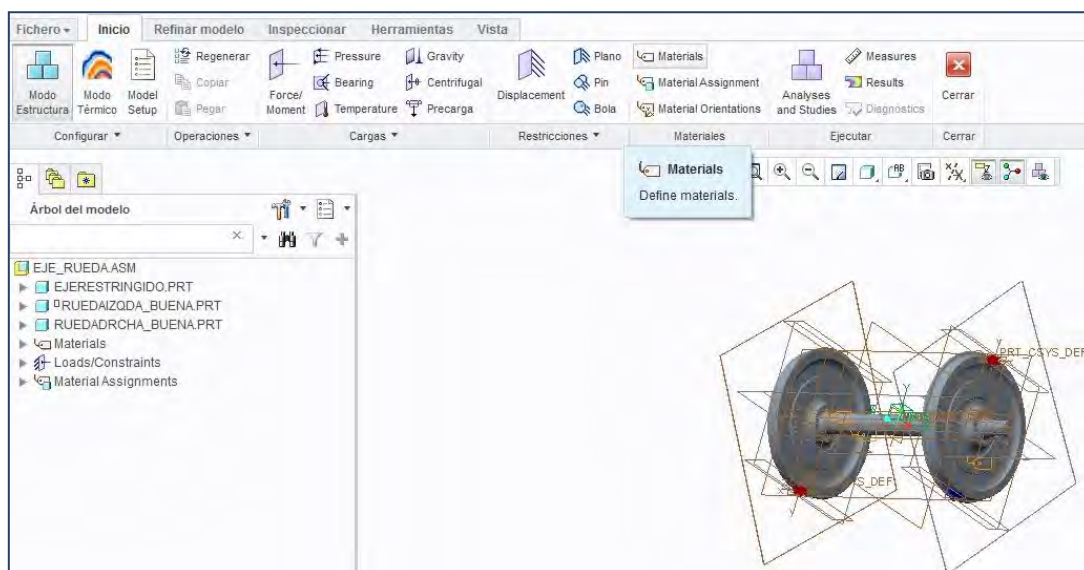


Ilustración 7.24. Introducción de materiales de eje y rueda

Se nos despliega una nueva ventana en la que vamos a crear un nuevo material con las características deseadas en nuestra aplicación particular.

Introducimos el nombre del material, EAN1, así como todas las propiedades requeridas en la ventana de comandos (Ilustración 7.25).

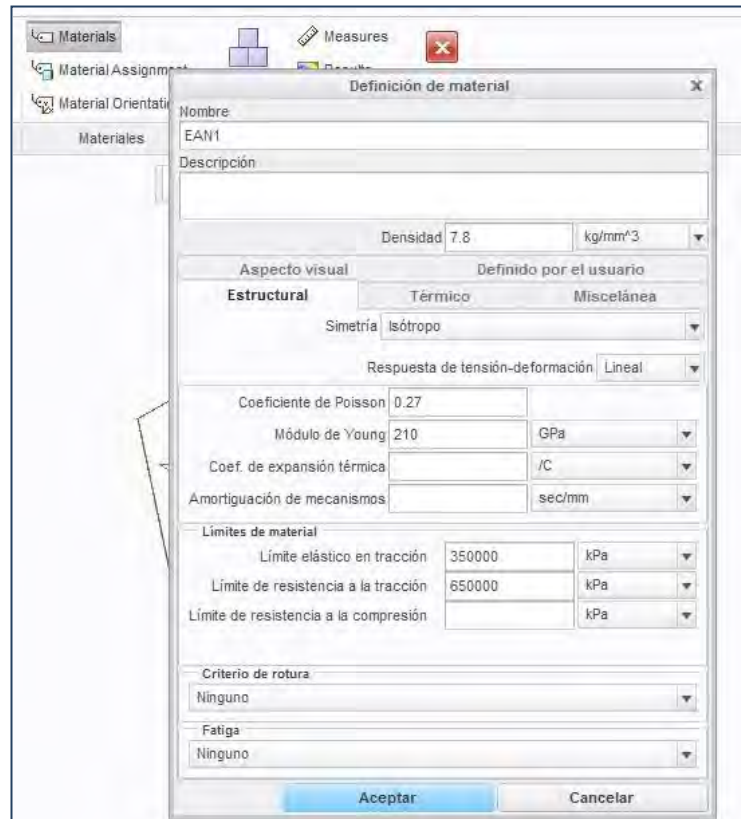


Ilustración 7. 25. Características de material del eje

Ahora debemos asignar a la pieza el material con el que deseamos que esté diseñada. En nuestro caso vamos a utilizar 2 diferentes, uno para el eje y otro para las ruedas. Para ello nos situamos en el menú de inicio y Material Assignment. Ahora mediante el cursor izquierdo del ratón + Ctrl seleccionamos el eje y le damos a aceptar. Con ello conseguimos esté conformado con el material EAN1 (Ilustración 7.26).

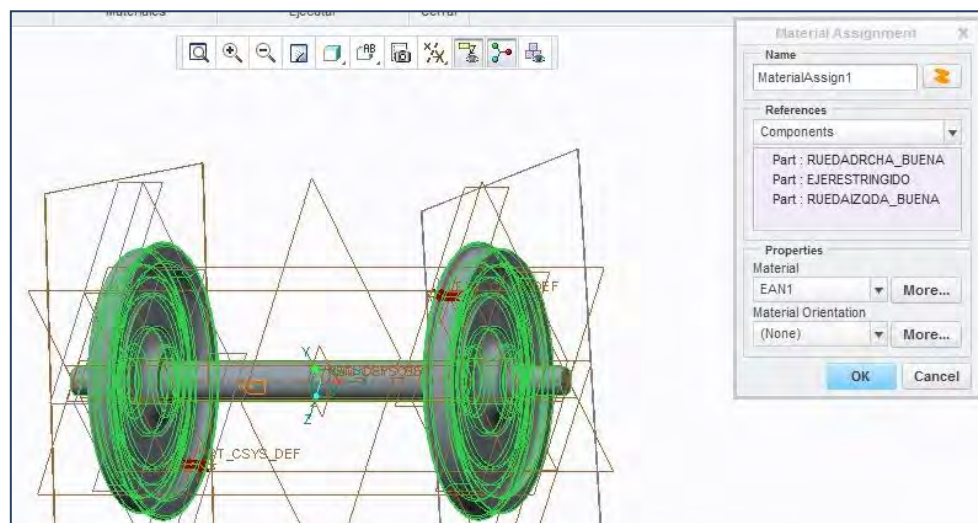


Ilustración 7. 26. Asignación del material EAN1 al eje

Material para ruedas:

Creamos un nuevo material para las ruedas, denominado ER7, definido previamente en anteriores capítulos. Procedemos de forma análoga al eje y asignamos nuestro nuevo material a las ruedas:

7.6. SITUACIÓN DE CARGAS

7.6.1. CARGAS SOBRE MANGUETAS

En primer lugar vamos a dividir la superficie de cada mangueta en 2 semicilindros (exceptuando las bases que no las tendremos en cuenta) para así poder situar la carga sobre la superficie semicilíndrica superior de la misma.

Para ello nos situamos en el entorno Simulate y abrimos la pestaña Refinar modelo, en la que seleccionaremos Surface Region.

Dentro, desplegamos Referencia y elegimos Dividir por Esbozo. Ahora definiremos un esbozo interno.

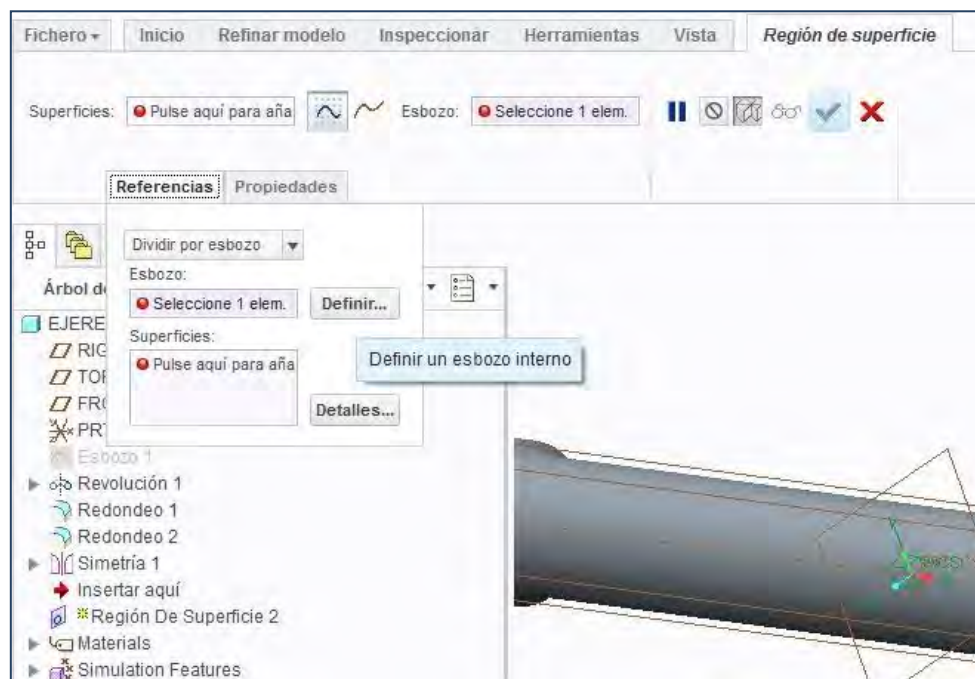


Ilustración 7. 27. Definición de esbozo

Seleccionamos el plano vertical que corta por la sección media al eje en su dirección longitudinal (ejes XY) y clicamos sobre Esbozo (Ilustración 7.27).

Se nos despliega una nueva pestaña en la que vamos a definir una línea que pase por el origen y siga la dirección del eje X de forma que sirva al programa como referencia para establecer la división de las superficies deseadas. Para ello seleccionamos cadena de líneas como muestra la Ilustración 7.28.

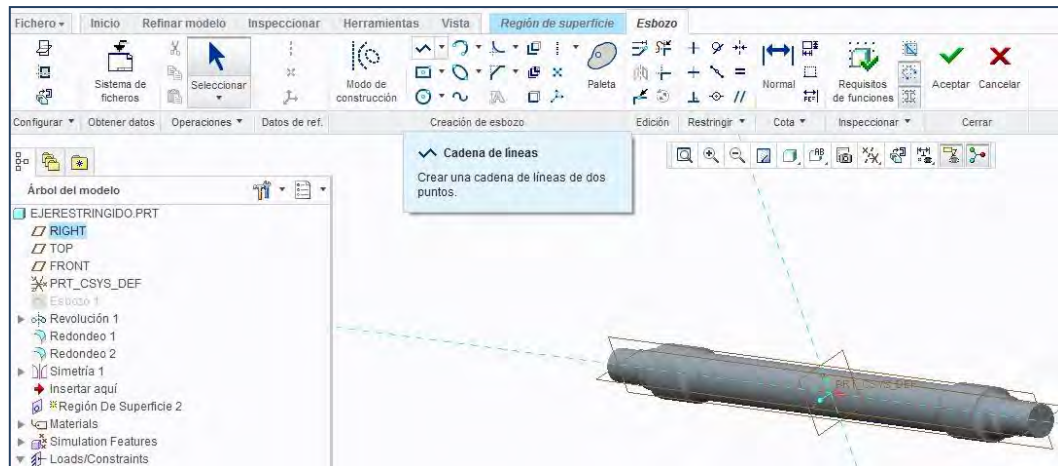


Ilustración 7. 28. Cadena de líneas

Una vez creada la mencionada línea de referencia de la forma establecida le podemos dar a Aceptar. Ahora debemos seleccionar la superficie que queremos dividir en 2 superficies independientes a la hora de trabajar con el programa, éstas son las superficies externas de las manguetas. Tras aceptar podemos observar como hemos dividido en 2 la superficie de revolución seleccionada (Ilustración 7.29).

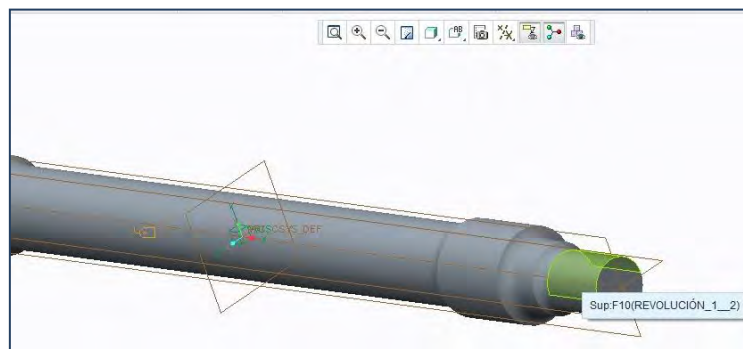


Ilustración 7. 29. Superficie media externa de las manguetas

Una vez realizado este proceso, las manguetas ya están preparadas para poder situar la carga sobre ellas. Nos situaremos ahora en la pestaña Inicio, Force/Moment (Ilustración 7.30).

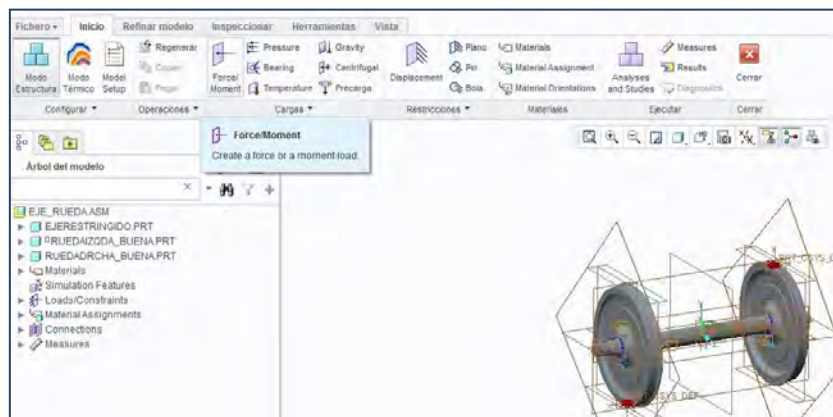


Ilustración 7. 30. Force/ Moment

Dentro de Force/Moment seleccionamos mediante el cursor izquierdo del ratón + Ctrl la superficie de las manguetas sobre la que vamos a situar la carga uniformemente repartida y normalizada de 123 kN (en cada mangueta). En el apartado Force introducimos los datos de la carga, teniendo en cuenta las componentes y direcciones de ésta con respecto a nuestro sistema de referencia (Ilustración 7.31).

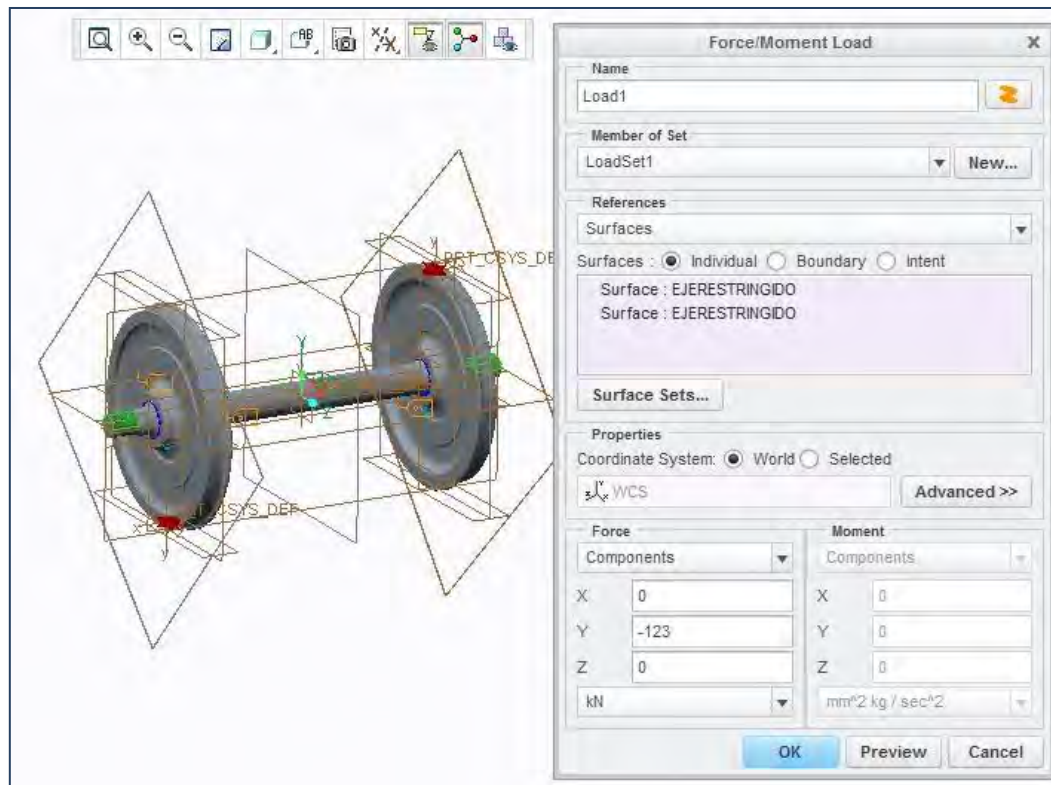


Ilustración 7. 31. Introducción de la carga sobre las manguetas

Podremos observar si hemos introducido de forma correcta las cargas tras aceptar la operación anterior (Ilustración 7.32), y en caso de que sea necesario editarlas acudiremos al menú de Árbol del modelo dentro del apartado Loads/Constraints.

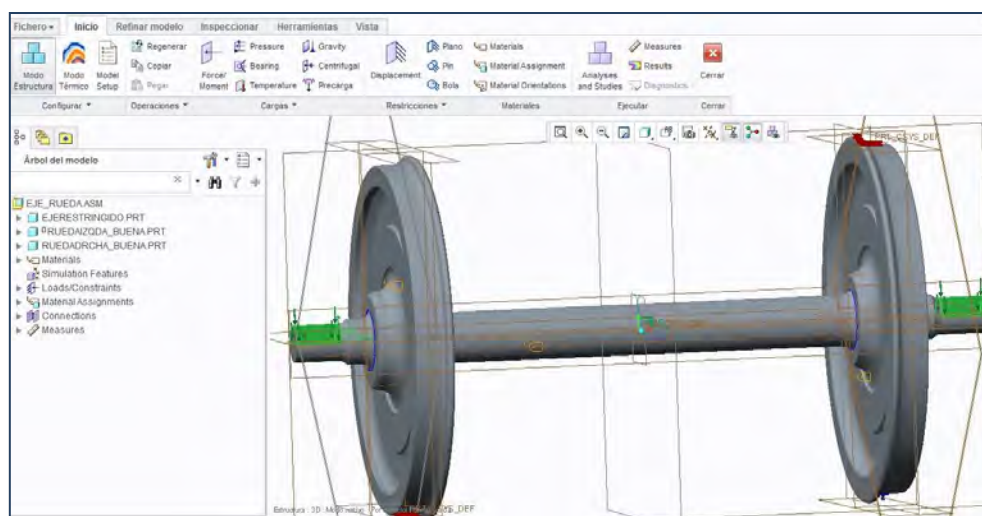


Ilustración 7. 32. Observamos el sistema de cargas sobre las manguetas

7.6.2. CARGAS GRAVITATORIAS

No podemos olvidarnos del efecto de la gravedad sobre el sistema, puesto que estamos realizando una simulación y buscando que se corresponda con la realidad y sirva como estudio previo lo más aproximado posible a la misma. Para ello vamos a la pestaña de Inicio y clicamos sobre Gravity.

Introducimos la fuerza de la gravedad, definida en el sistema como 1 vez la fuerza de la gravedad, aplicada sobre el eje y en el sentido vertical negativo, $-OY$, siempre con respecto a nuestro sistema de referencia global (Ilustración 7.33).

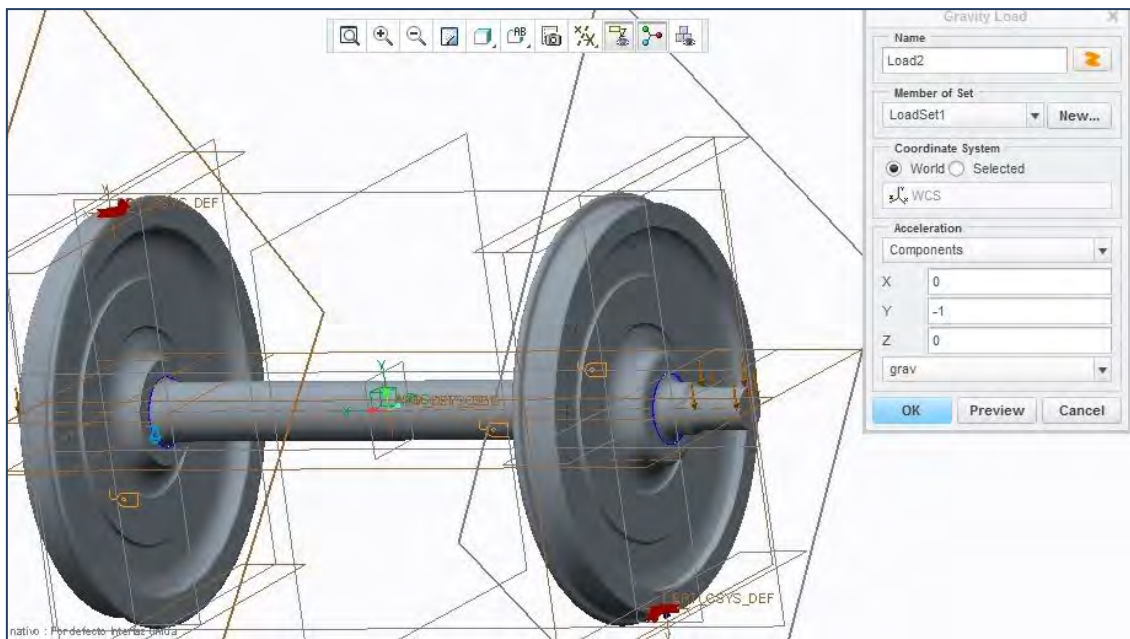


Ilustración 7. 33. Introducción de la fuerza g

7.7. PUNTOS SOMETIDOS A ESTUDIO

Para la obtener los datos de nuestros análisis vamos a tomar una serie de puntos característicos y representativos de eje y rueda, sobre los que recogeremos las evaluaciones de magnitudes a estudiar en cada uno de los ensayos, a saber: tensión, desplazamiento y aceleración.

En principio introducimos una gran cantidad de puntos repartidos a lo largo de nuestro conjunto, para finalmente quedarnos con los 6 puntos más representativos. Principalmente por razones de operatividad. Obteniendo de esta forma un número de datos suficientemente consistente para tener fiabilidad en nuestro estudio y a la vez manejo y flexibilidad a la hora de gestionarlos.

Los 6 puntos en los que evaluaremos las variables a lo largo de los análisis modales y los 'dynamic time' para cada una de las frecuencias naturales de vibración de nuestro conjunto wheelset, son los siguientes y se definen del modo expresado en Creo Elements/PRO:

1. APNT8: Punto central en la superficie de la cara externa circular del eje.

2. APNT4: Punto de contacto superficial exterior entre eje y rueda (Ilustración 7.34).

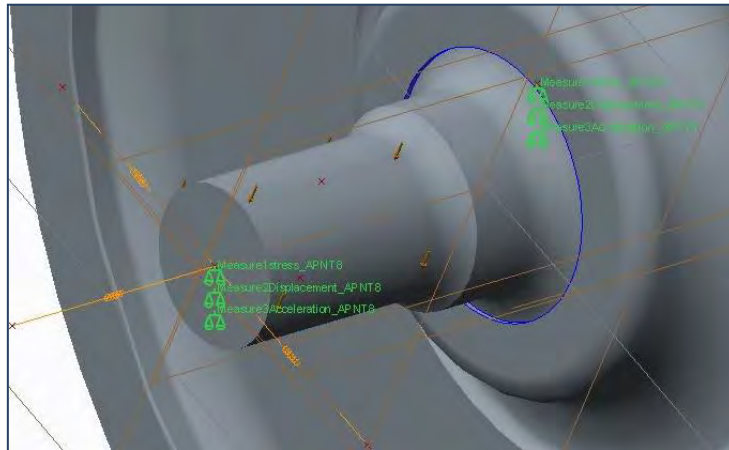


Ilustración 7. 34. Localización de P1 y P2

3. APNT17: Punto situado en la confluencia de cara externa de la rueda con la superficie de rodadura (Ilustración 7.35).
4. APNT19: Punto extremo de mayor diámetro situado en la pestaña de la rueda.

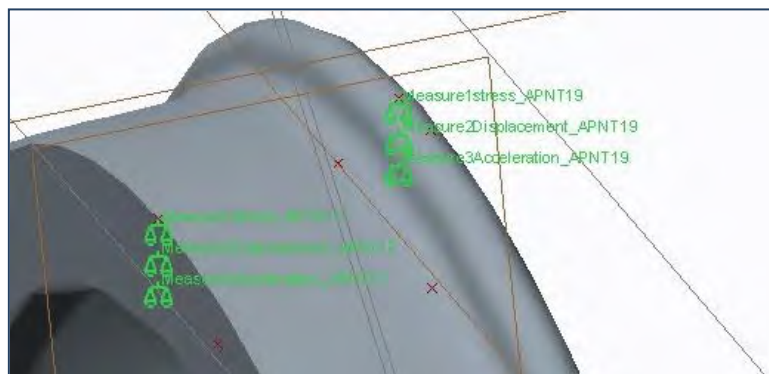


Ilustración 7. 35. Localización de P3 y P4

5. APNT5: Punto de contacto superficial interior entre eje y rueda.
6. APNT7: Punto superficial situado en la sección central del eje (Ilustración 7.36).

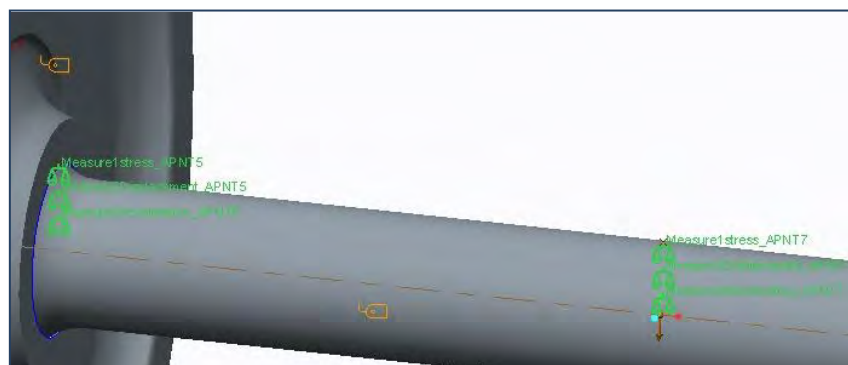


Ilustración 7. 36. Localización de P5 y P6

En la siguiente imagen (Ilustración 7.37) podemos observar de forma global la localización de los 6 puntos de estudio.

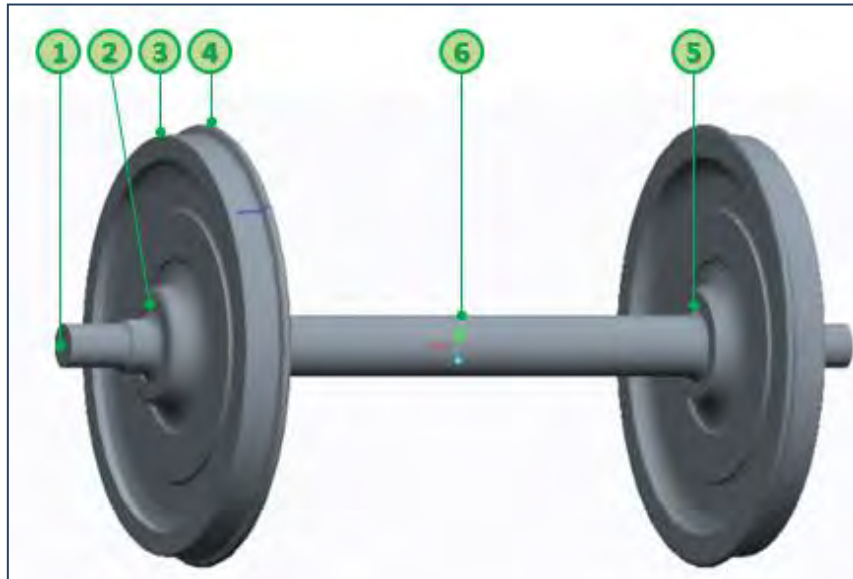


Ilustración 7.37. Visión global de los puntos característicos de recogida de datos

Para definir todos estos puntos en el programa lo haremos desde la pestaña *modelo*, seleccionando *punto*, dentro de esta opción marcaremos 2 planos y una superficie de manera que la intersección de estos se sitúe en el lugar elegido para establecer el punto.

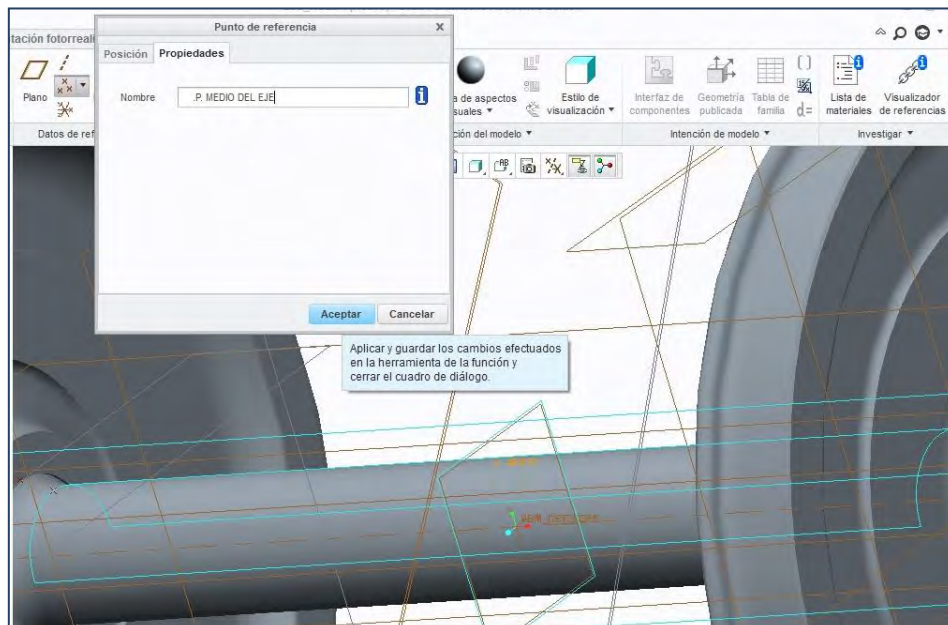


Ilustración 7.38. Definición de un punto

Como observamos en la imagen anterior (Ilustración 7.38), tomamos dos planos perpendiculares entre sí, siendo uno de ellos la sección transversal media del eje, otro un plano longitudinal medio del eje y como tercera superficie la parte superior semicilíndrica externa del eje (todos ellos destacados en azul). Mediante estas tres superficies definimos el Punto 6.

7.8. INTRODUCCIÓN DE DEFECTOS EN EL EJE

Una vez definidos los puntos más representativos que van a estar sometidos a estudio con las diferentes magnitudes a analizar, vamos a introducir una serie de defectos a modo de pequeñas grietas en 2 secciones, candidatas principales a ser sección crítica por fallo de fatiga en el eje ferroviario. El criterio seguido para la selección de estas secciones es basarnos en los fundamentos teóricos y también en la experiencia, observando los accidentes ferroviarios causados por fatiga en ejes, y los puntos superficiales del eje en los que las fracturas tenían su origen.

Por lo tanto elegimos las siguientes secciones, y comenzamos a introducir defectos a modo de pequeñas fisuras, con 5 niveles de profundidad como se describen en el Capítulo de Metodología (Geometría y Situación de las Grietas):

- Sección transversal media (Ilustración 7.39).



Ilustración 7. 39. Eje con fallo por fatiga producido en la sección media

- Sección transversal en ajuste interior medio a mangueta (Ilustración 7.40).



Ilustración 7. 40. Eje con fallo por fatiga en la sección de ajuste interior

7.8.1. DEFECTOS EN SECCIÓN TRANSVERSAL MEDIA

Para introducir la fisura en el diseño del wheelset, en el entorno Creo Parametric, vamos a generar un esbozo dentro de la pestaña modelo. Nos ayudaremos de los planos de referencia existentes que pasen por la sección media del eje (seleccionado y sombreado en verde).

Una vez seleccionado este plano y dentro de la pestaña esbozo se nos despliega un menú mediante el cual vamos a elegir la geometría de la sección a extruir, con la que conformaremos la grieta a introducir (Ilustración 7.41).

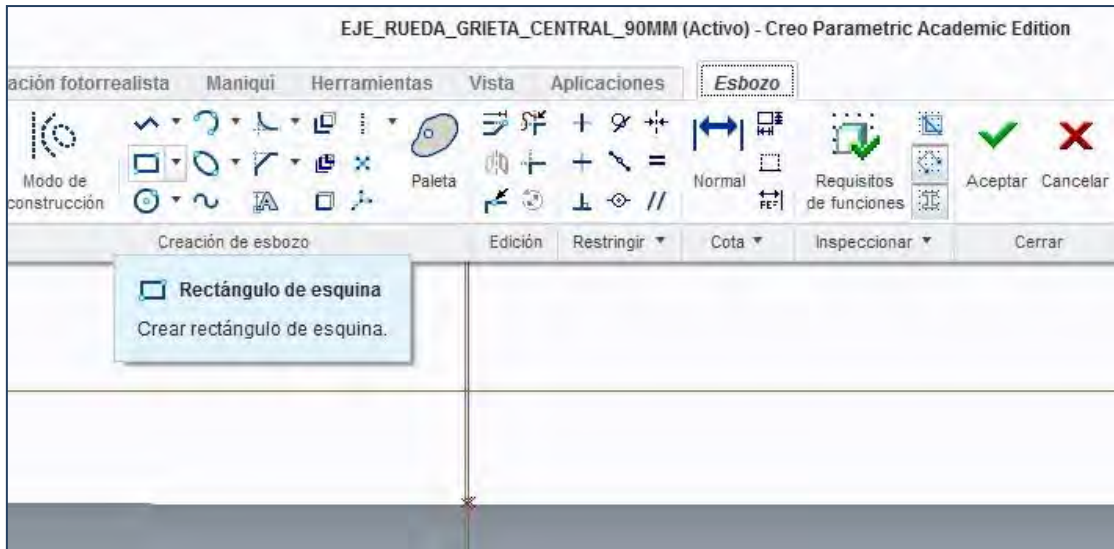


Ilustración 7. 41. Selección de rectángulo para introducir la grieta

En nuestro caso vamos a introducir un rectángulo de anchura constante 2 mm y longitud variable en función de los niveles de profundidad (Ilustración 7.42), previamente seleccionados (en el caso del ejemplo son 90 mm, nivel 5, el máximo que vamos a estudiar y que comprende el 50% de la sección)

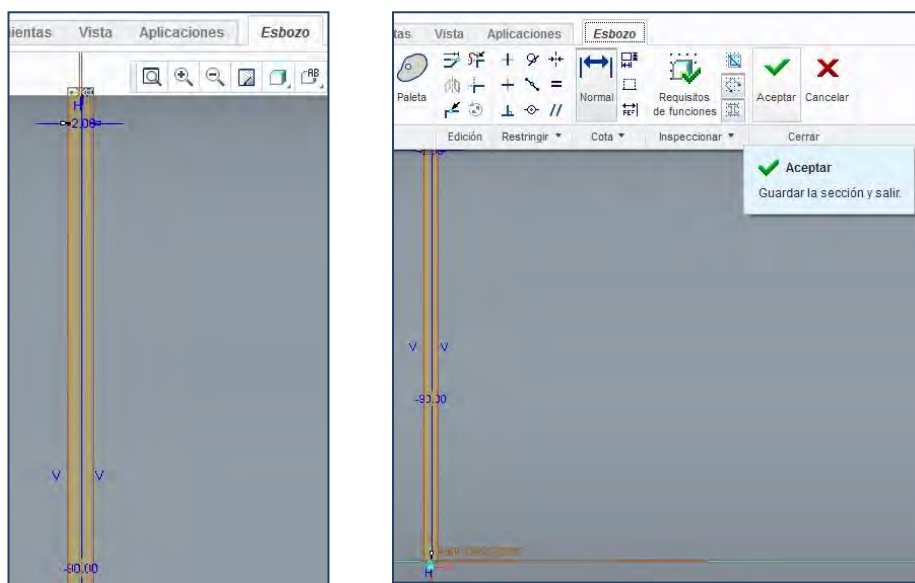


Ilustración 7. 42. Dimensiones requeridas de la grieta

Aceptamos y nos devuelve a la pestaña modelo, en la cual seleccionamos la opción extruir para nuestro rectángulo (Ilustración 7.43), eligiendo la opción de forma simétrica hasta obtener visibilidad de la dimensión transversal del eje (*plano XY*) y asegurarnos de que ‘desplegamos’ la grieta correctamente (Ilustración 7.44).

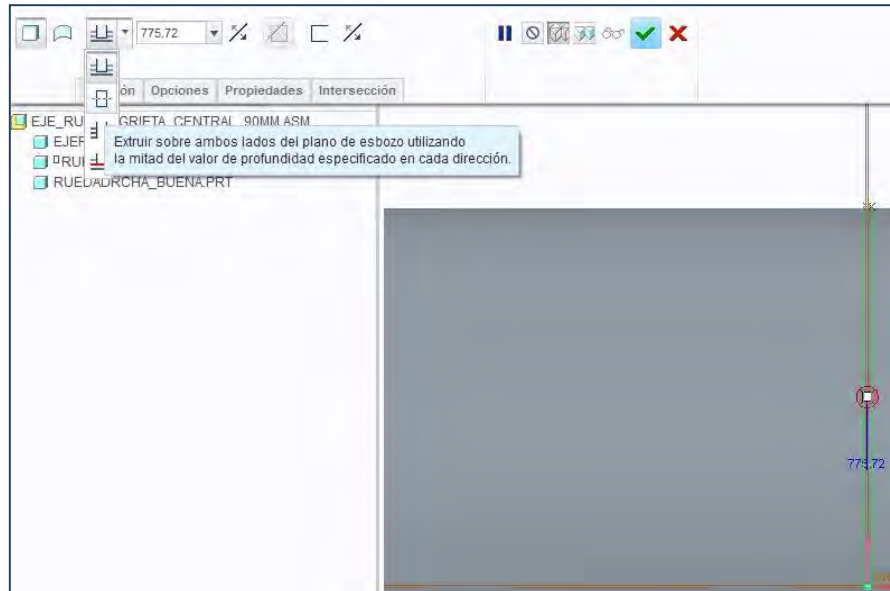


Ilustración 7. 43. Extrusión de la grieta

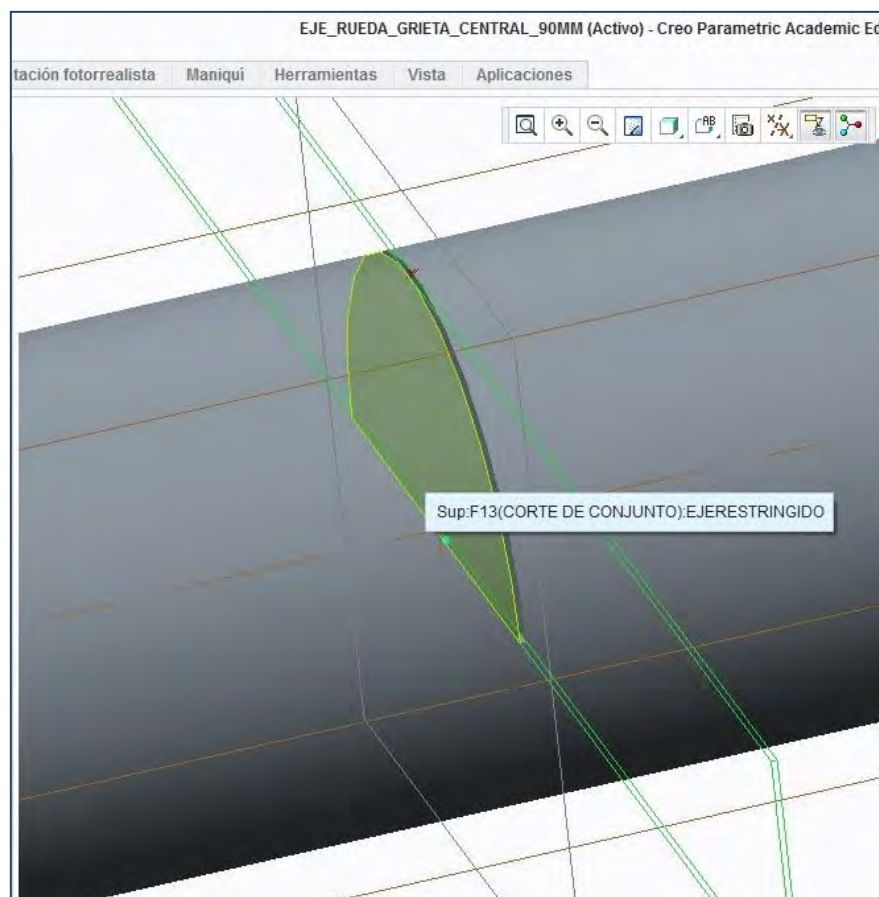


Ilustración 7. 44. Observamos la grieta introducida

Finalmente observamos que la fisura esté generada de forma correcta con las características que buscamos.

En la siguiente figura (Ilustración 7.45) observamos el fallo y rotura del eje en la sección central del mismo.



Ilustración 7. 45. Fallo en la sección central del eje

7.8.2. DEFECTOS EN SECCIÓN TRANSVERSAL EN AJUSTE INTERIOR

Procedemos de manera análoga para generar las grietas en la sección correspondiente al ajuste medio transversal del eje, en el interior de la mangueta. Iremos por tanto introduciendo la extrusión rectangular para crear las fisuras con los diferentes niveles de ensayo.

Para ello definiremos en primer lugar un plano transversal al eje en la sección requerida (Ilustración 7.46).

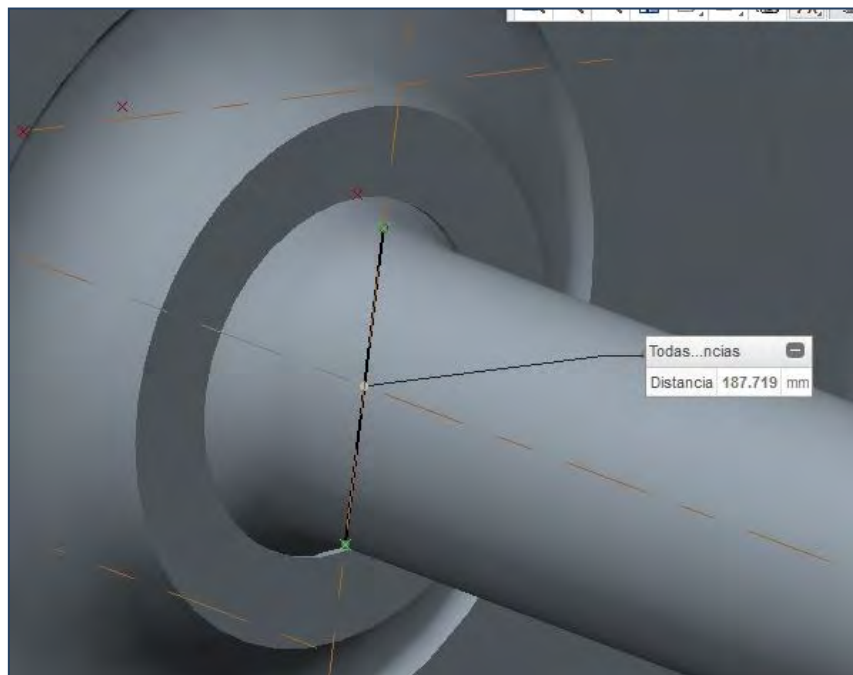


Ilustración 7. 46. Sección en la que introduciremos la grieta lateral

Hemos de tener en cuenta el diámetro exacto del eje en este punto para poder calcular los niveles de profundidad de defecto, en relación al porcentaje de sección, hasta alcanzar el nivel 5 que se corresponde con el 50% (Ilustración 7.47).

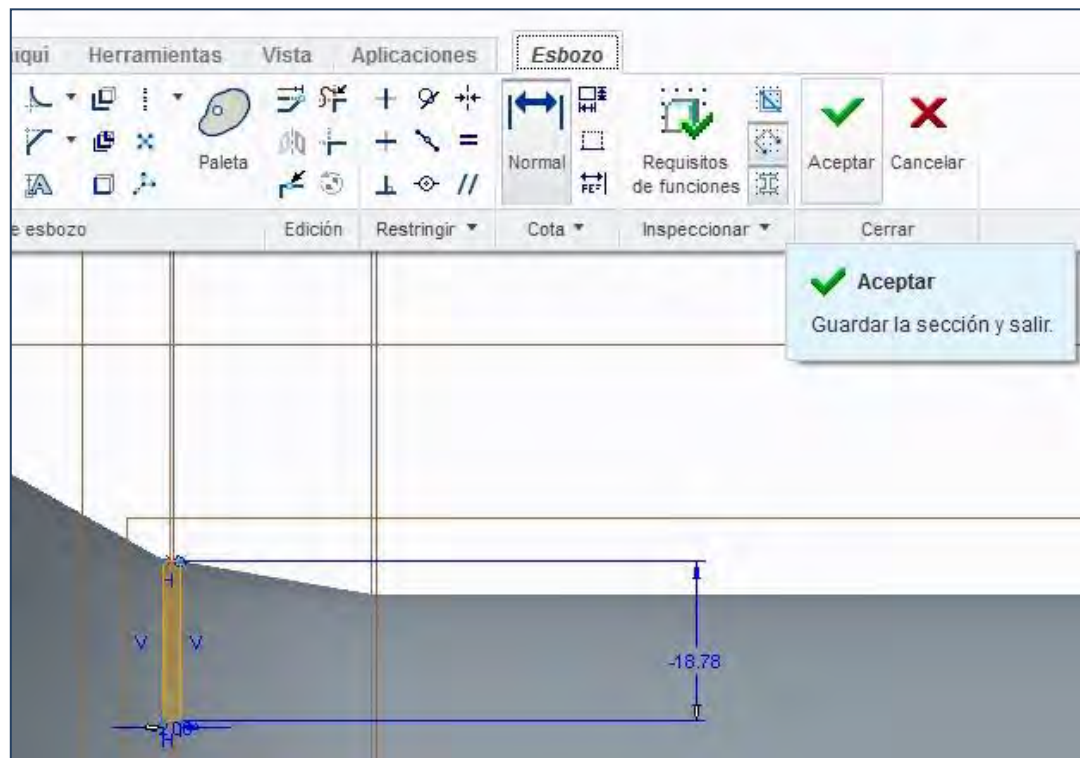


Ilustración 7. 47. Dimensiones de la grieta lateral

Podemos observar en las siguientes imágenes el resultado final para 2 niveles de fisura diferentes (Ilustraciones 7.48 y 7.49) y la comparación con una fractura por fatiga real en esta sección del eje (Ilustración 7.50).

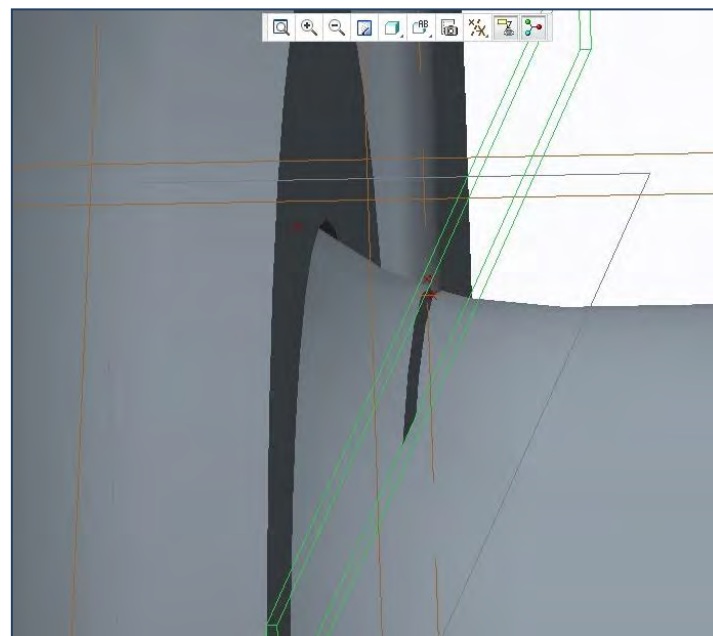


Ilustración 7. 48. Extrusión de la grieta

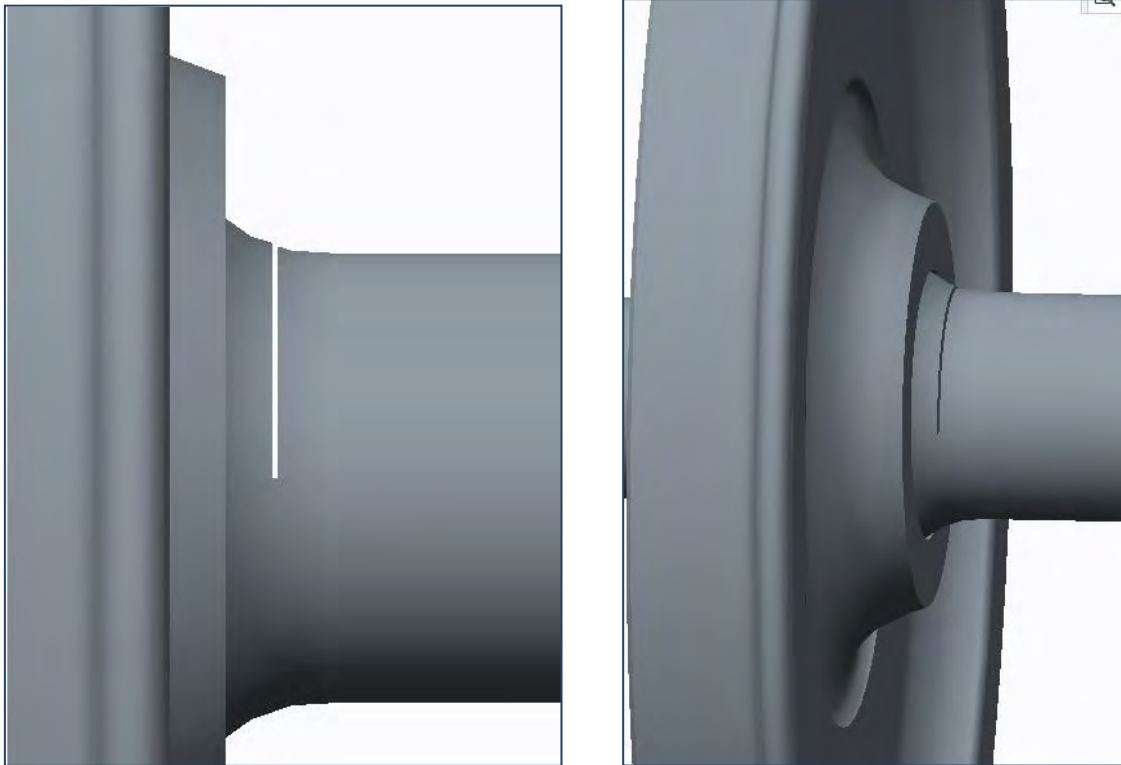


Ilustración 7. 49. Observamos la grieta lateral y su situación en el eje



Ilustración 7. 50. Fallo en la sección lateral de eje real

7.9. GENERACIÓN DEL MALLADO

A la hora de definir el mallado con el que íbamos a realizar los cálculos y ensayos sobre nuestros diseños de elementos mecánicos, surgieron las siguientes preguntas:

- ¿Qué precisión de mallado nos puede aportar el programa?
- ¿Qué capacidad de proceso tienen los equipos informáticos con los que trabajamos?
- ¿De qué modo afecta la precisión del mallado a la calidad de nuestros ensayos?
- ¿Cuánto tiempo nos requiere aumentar la exactitud de la malla?
- ¿Cuánto tiempo estamos dispuestos a invertir en cada análisis?

Para dar respuesta a todas estas cuestiones, tomamos la decisión de hacer un estudio previo a los sucesivos análisis programados, antes de aventurarnos a realizar todos los ensayos y luego surgir posibles problemas y tener que repetirlos. Este consistía en realizar una comparativa de análisis modal sobre el conjunto wheelset, con 2 niveles de precisión bien diferenciados y observar los resultados obtenidos.

7.9.1. COMPARATIVA: MALLADO POR DEFECTO Y REFINADO

En primer lugar definimos el mallado estándar que nos ofrece Creo Parametric. Para ello vamos al entorno Simulate y nos situamos sobre la pestaña Refinar Modelo, haciendo click en la opción AutoGEM (Ilustración 7.51).

Nos aparecerá a continuación un menú emergente, en el que viene por defecto seleccionar toda la geometría para el mallado, le damos a crear.

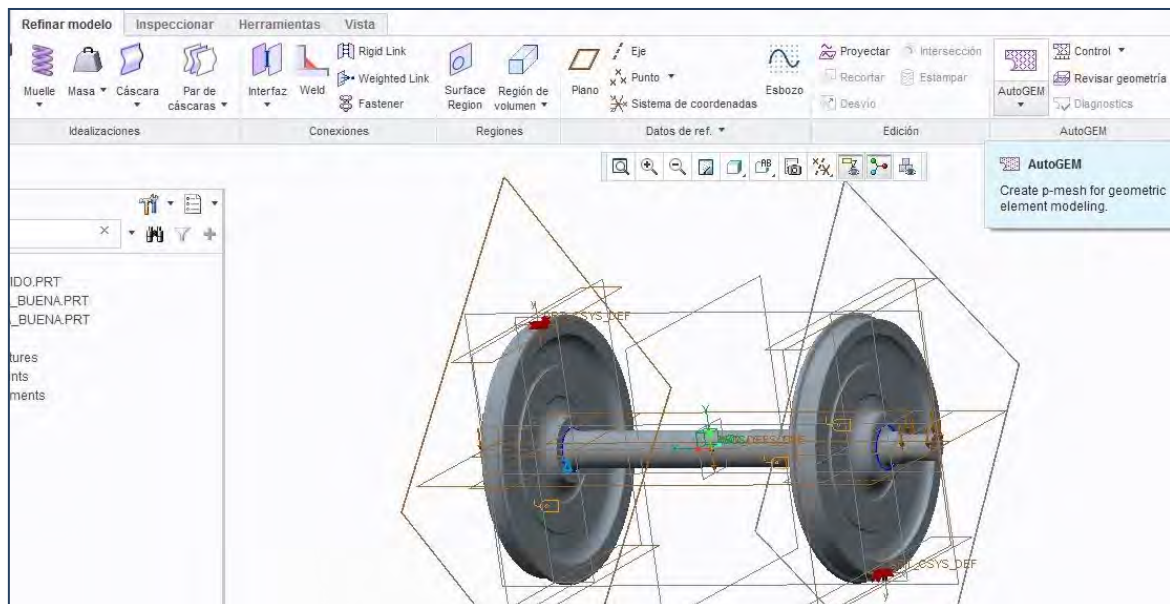


Ilustración 7. 51. Accedemos a la opción AutoGEM

Tras un pequeño lapso de computación el programa muestra el resultado, con el tiempo invertido y el número total de nodos y elementos resultantes. También nos muestra el diagnóstico de los procesos a lo largo de la simulación y la apariencia final de todos los nodos que se han generado en nuestras piezas (Ilustración 7.52).

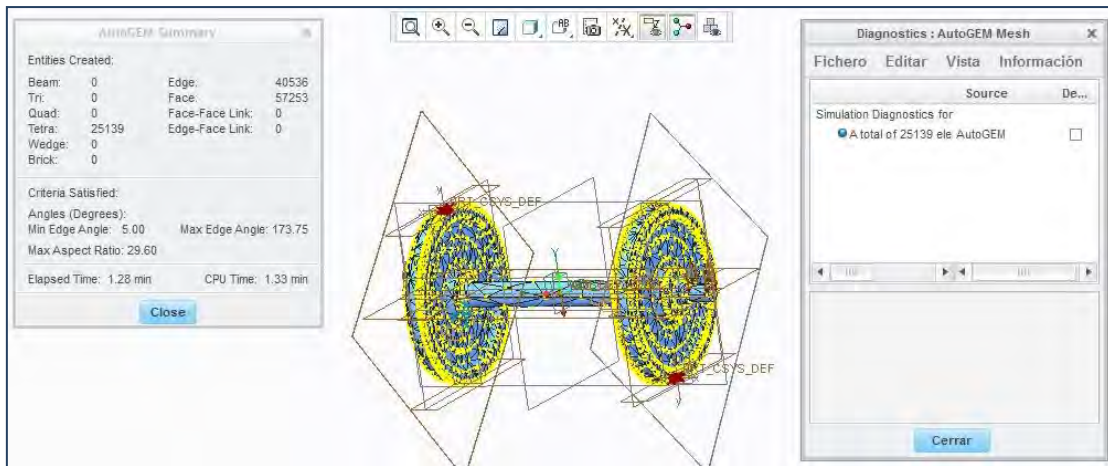


Ilustración 7. 52. Características del mallado estándar

Por otra parte comenzamos a realizar el mallado refinado sobre nuestro sistema, inicialmente procedemos de forma análoga a la generación del mallado estándar. Tras incorporarnos a la pestaña refinar modelo, vamos a la opción control en la que se nos despliega un menú. Entramos en Tamaño máximo de elemento y elegimos 30 mm como prueba inicial a nuestro mallado de alta precisión, seleccionando todas las piezas del conjunto (Ilustración 7.53).

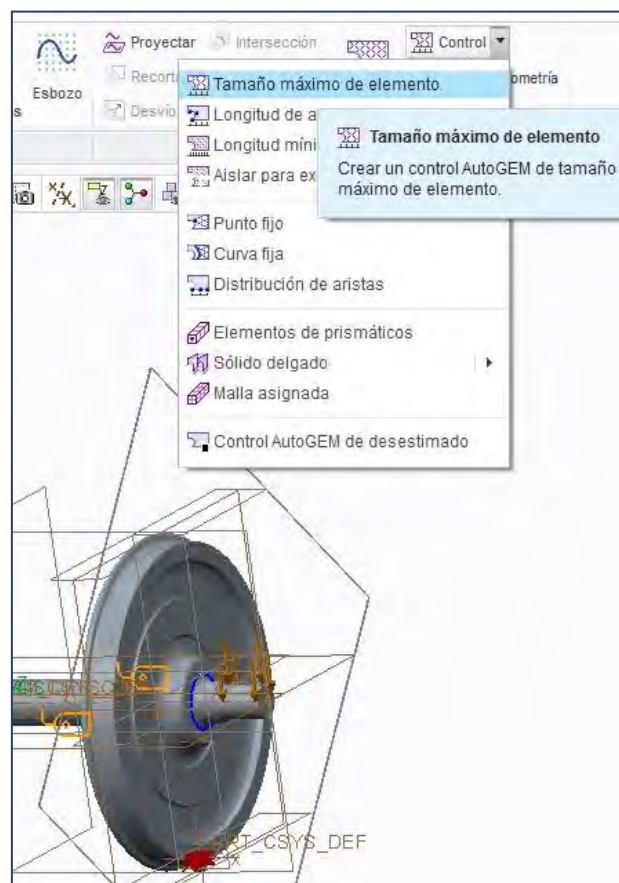


Ilustración 7. 53. Tamaño máximo de elemento

Tras aceptar la generación del mallado AutoGEN, podemos observar el resultado final, con el número total de nodos y el tiempo de computación del proceso (Ilustración 7.54).

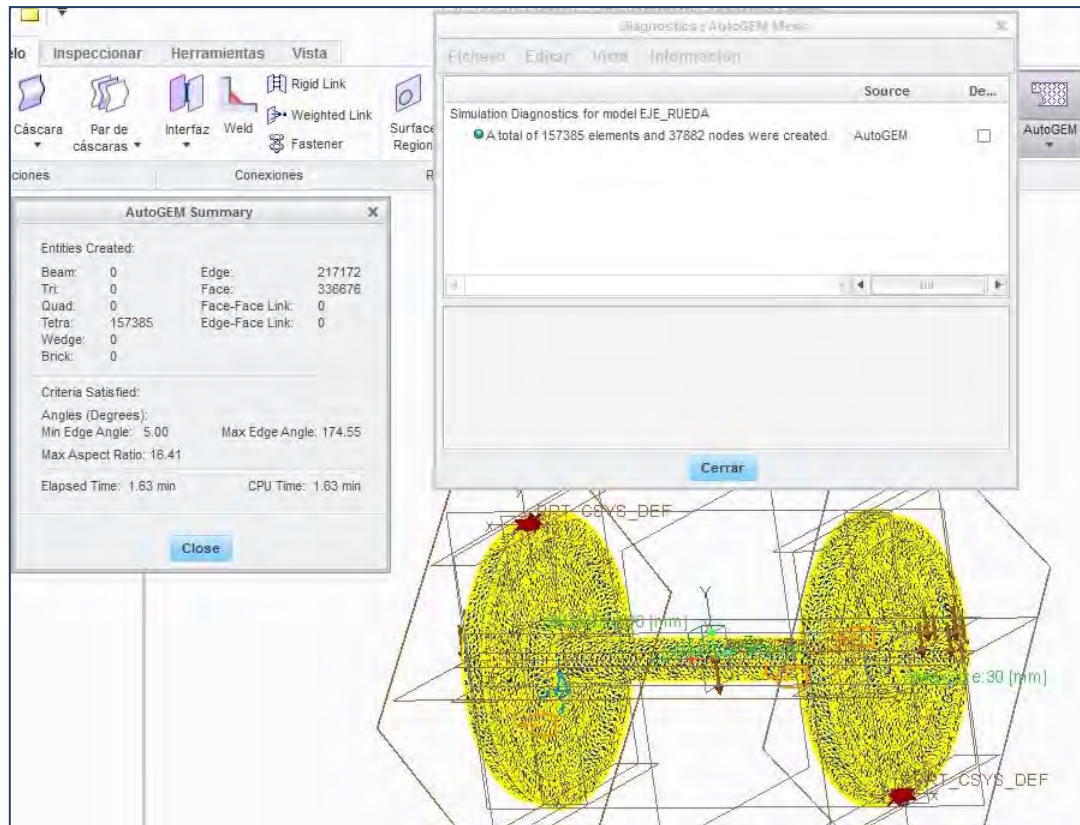


Ilustración 7. 54. Características del mallado refinado

Una vez generado estos 2 modelos de malla, trabajamos de forma paralela llevando a cabo ensayos modales y estáticos. De esta observación comprobamos que el tiempo invertido en realizar un análisis con el mallado estándar era aceptable, pero la calidad de los resultados se podría ver afectada por el excesivo 'grosor' de los elementos del mallado. Mientras que para la malla refinada, el tiempo de computación de los ensayos era demasiado grande para ser manejable obteniendo por el contrario resultados muy precisos.

Por tanto se decidió utilizar un mallado de precisión intermedia entre el estándar y el refinado con tamaño máximo de elemento 30 mm, que fue el que finalmente utilizamos para el desarrollo de todos los cálculos del proyecto.

7.9.2. MALLADO UTILIZADO

Trabajaremos con una malla computacional basada en el parámetro tamaño máximo de elemento: 90 mm. Procederemos de forma análoga al apartado anterior.

7.10. DEFINICIÓN DE LAS MAGNITUDES A EVALUAR

Para definir las magnitudes que vamos a evaluar en los ensayos: tensión, desplazamiento y aceleración; y acoplarlas a nuestros puntos de referencia, entramos en el espacio *Simulate*, *Inicio*, *Measures* y dentro de este apartado creamos una nueva entrada haciendo click en *New*. Definiremos en primer lugar la tensión, introduciendo su nombre, *Measure1stress*, el criterio de unidades y rotura, evaluación espacial *At Point*, evaluación dinámica *At Each Step* y finalmente seleccionando cada uno de los puntos requeridos para el ensayo. Aparecerán resaltados en color verde al ser seleccionados (Ilustración 7.55).

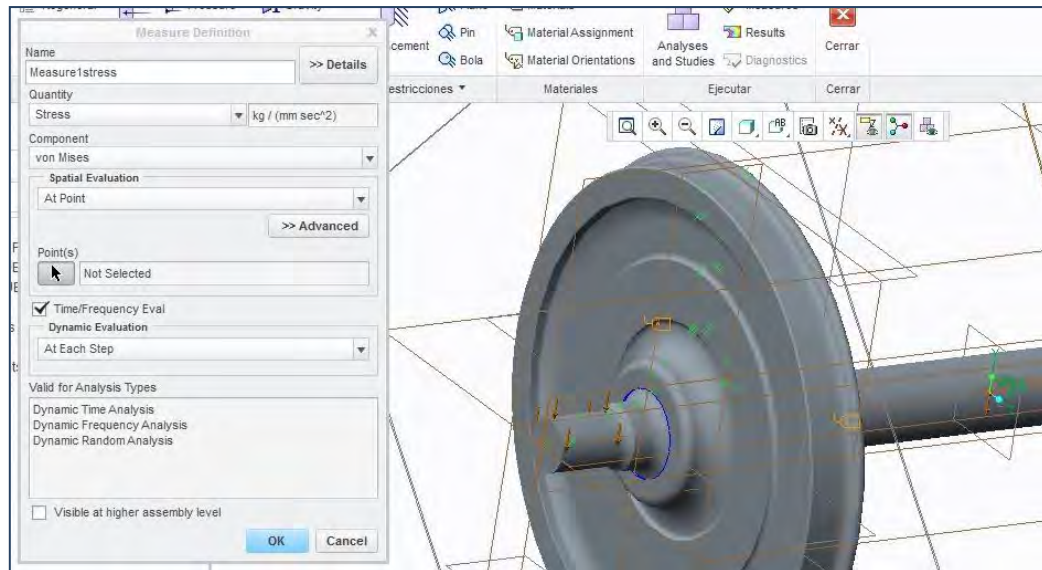


Ilustración 7. 55. Introducción de la magnitud: Tensión (kPa)

Procedemos del mismo modo con las otras dos magnitudes, definiéndolas como observamos en las imágenes. Su nomenclatura dentro del programa será *Measure2Displacement* y *Measure3Acceleration* respectivamente (Ilustración 7.56).

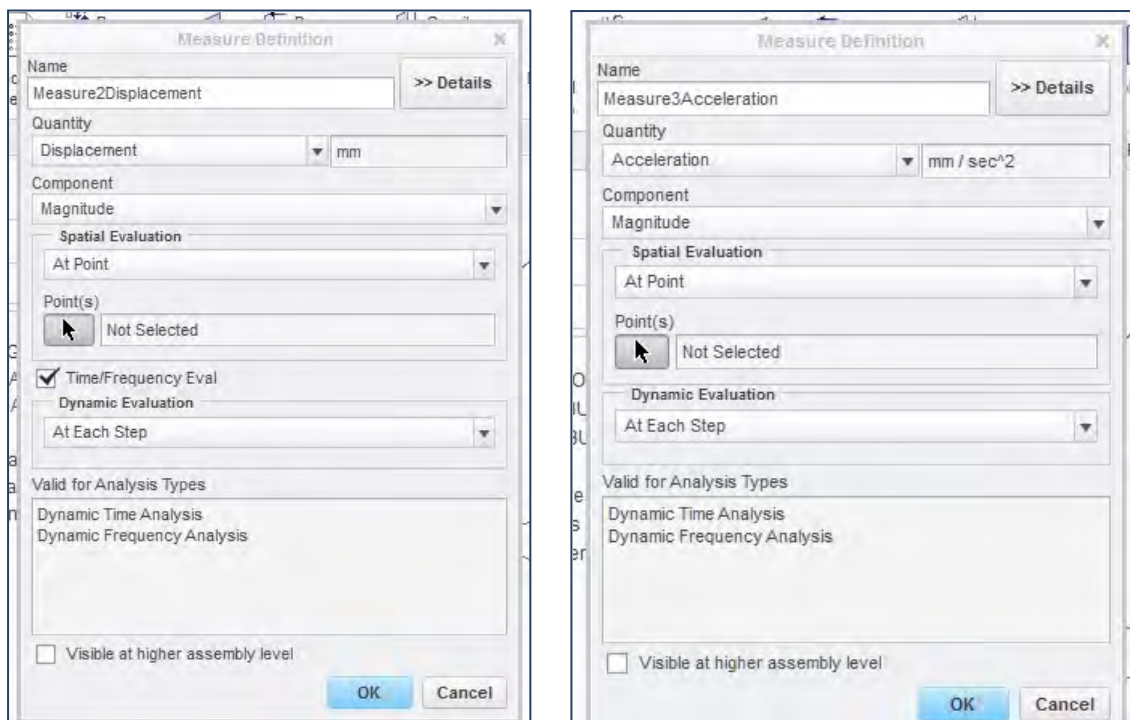


Ilustración 7. 56. Introducción de la magnitud: Desplazamiento (mm) y Aceleración (mm/s²)

7.11. ANÁLISIS MODAL

Vamos a realizar un análisis modal de los primeros 10 modos de vibración, tanto para el conjunto wheelset sin defectos en el eje como para el conjunto con los distintos niveles y localizaciones de defecto en el eje.

7.11.1. GENERACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ANÁLISIS MODAL

En primer lugar nos situamos en la pestaña Inicio y accedemos a la opción analyses and studies (Ilustración 7.57). Se nos despliega un menú emergente, en el que vamos a seleccionar File, New Modal...

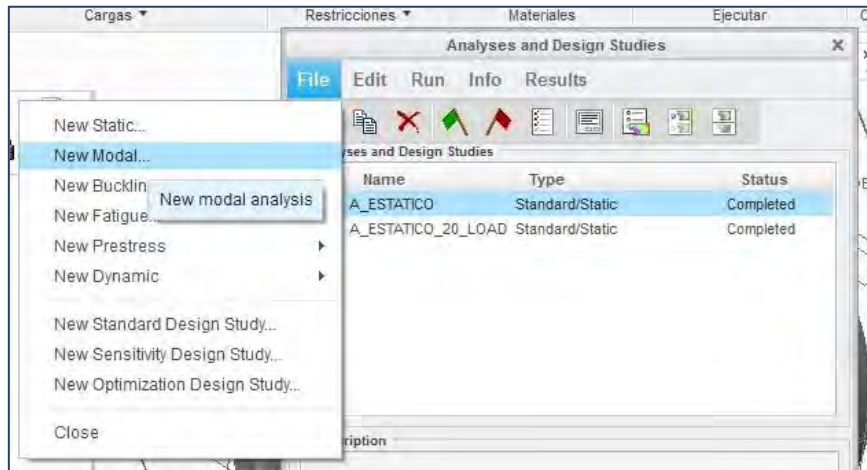


Ilustración 7. 57. Nuevo análisis modal

Ahora nombramos a nuestro análisis modal y comenzamos a introducir las características que requerimos. En la pestaña 'Modes' vamos a seleccionar la opción Constrained y nuestro conjunto, ya que queremos trabajar con el sistema de restricciones que incorporamos previamente al mismo. Elegiremos también el número de modos de vibración que queremos obtener y la frecuencia mínima desde la que partimos, en este caso 0 Hz (Ilustración 7.58).

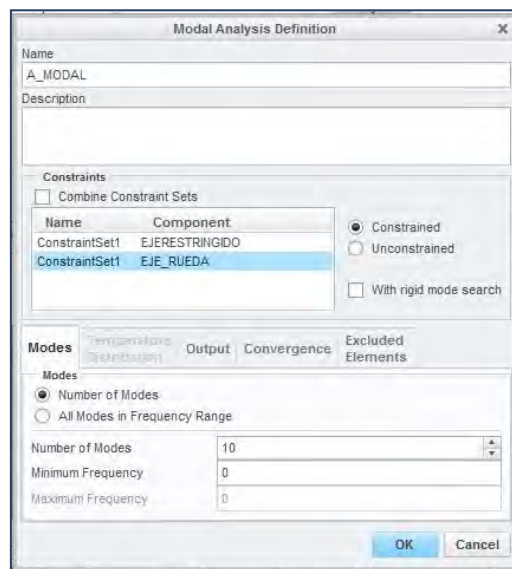


Ilustración 7. 58. Propiedades: Modos

En la pestaña Output seleccionamos el cálculo de las tensiones, rotaciones y reacciones. Además para el trazado, seleccionaremos un tamaño de mallado medio, Plotting grid 6 (Ilustración 7.59).

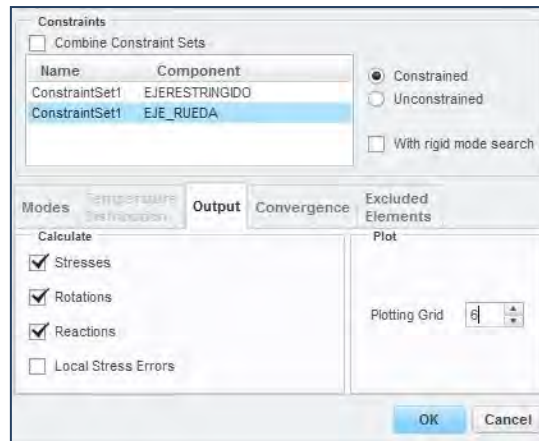


Ilustración 7. 59. Propiedades: Plot & Calculate

Dentro de la pestaña Convergence elegiremos el método Multi-Pass Adaptive frente a Single-Pass, ya que es iterativo y nos aporta mayor precisión a los cálculos. Las características del mismo serán orden polinómico entre 1 y 9 y nivel de convergencia del 5%, con convergencia en frecuencia (Ilustración 7.60).

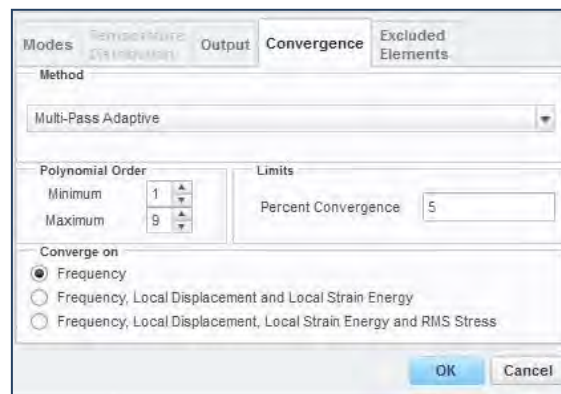


Ilustración 7. 60. Propiedades: Convergencia

Dejamos la opción Excluded Elements por defecto y le aceptaremos los cambios haciendo click en OK. Ya podemos comenzar a ejecutar el análisis modal con las características definidas, desde la ventana Start Run (Ilustración 7.61).

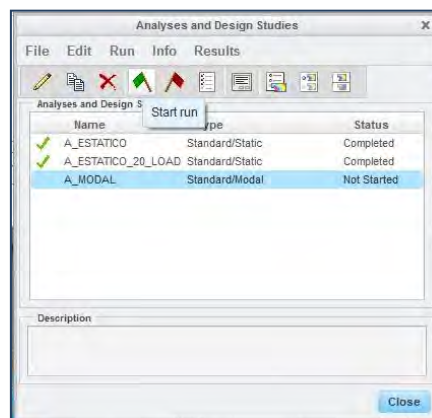


Ilustración 7. 61. Ejecutar análisis

Observamos como el análisis se está procesando y las principales características del mismo. Una vez que el análisis se haya ejecutado nos aparecerá un check verde que nos indicará que se ha ejecutado, completándose de forma correcta. Si surgiera algún tipo de error el programa nos lo mostrará por pantalla indicándonos el tipo de fallo en el proceso.

7.11.2. MODOS DE VIBRACIÓN DEL ANÁLISIS MODAL

Para observar los resultados de un análisis modal, accedemos de nuevo a Analyses and Studies. Dentro de la pestaña review results of a desing, se nos despliega un menú en el que podremos extraer los datos, tanto la frecuencia de cada modo como la representación gráfica de los mismos sobre nuestro wheelset (Ilustración 7.62).

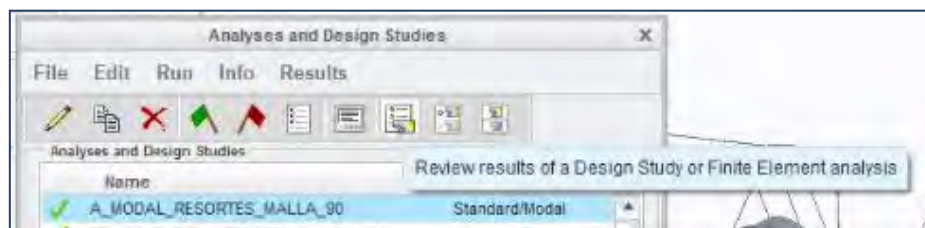


Ilustración 7. 62. Revisión de los resultados del análisis

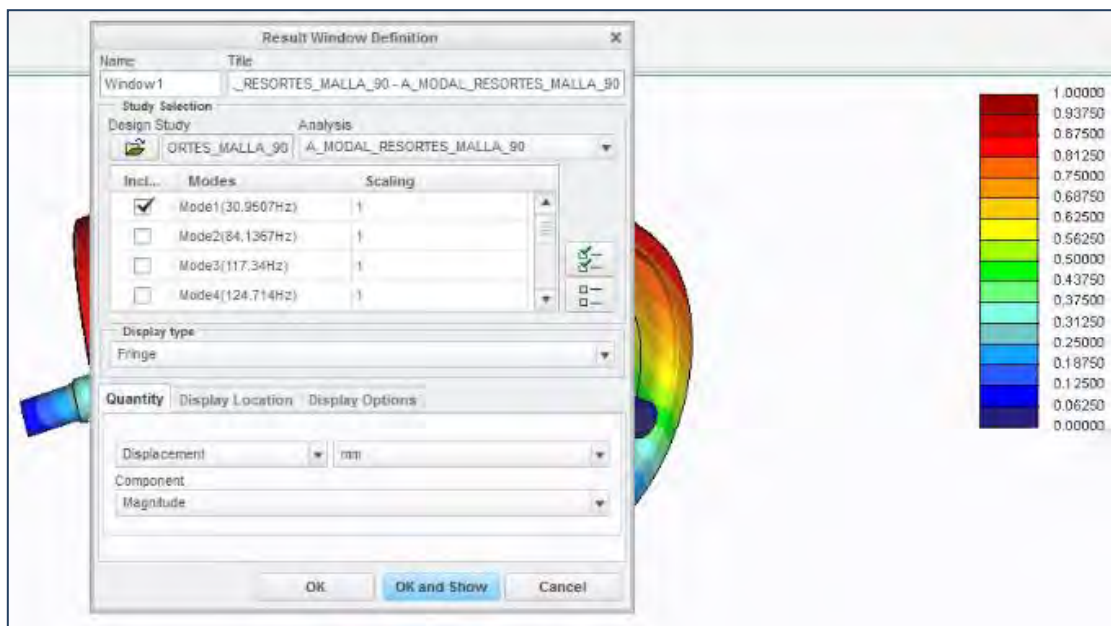


Ilustración 7. 63. Seleccionamos modo requerido

Seleccionando en la pestaña Quantity la magnitud desplazamiento y sus unidades (Ilustración 7.63), y en Display Options las características de la representación de la deformada, observaremos gráficamente y de forma animada los modos de vibración (Ilustración 7.64).

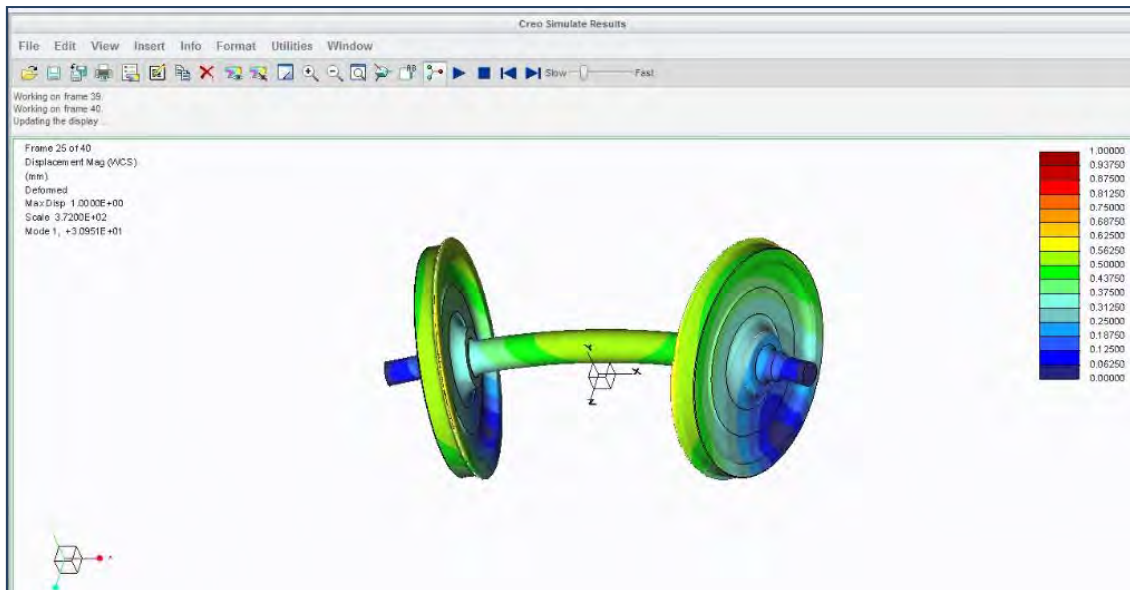


Ilustración 7. 64. Representación gráfica de un modo de vibración

7.12. DYNAMIC TIME

Una vez realizados todos los ensayos modales sobre el wheelset, con los diferentes niveles de defecto; procederemos a realizar un dynamic time para cada uno de ellos, siguiendo las siguientes pautas de trabajo.

7.12.1. GENERACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL DYNAMIC TIME

Para comenzar accedemos al entorno Simulate, Inicio y Analysis and Studies (Ilustración 7.65). Seleccionando el análisis modal elegido, desplegamos File y elegimos New Dynamic...Time.

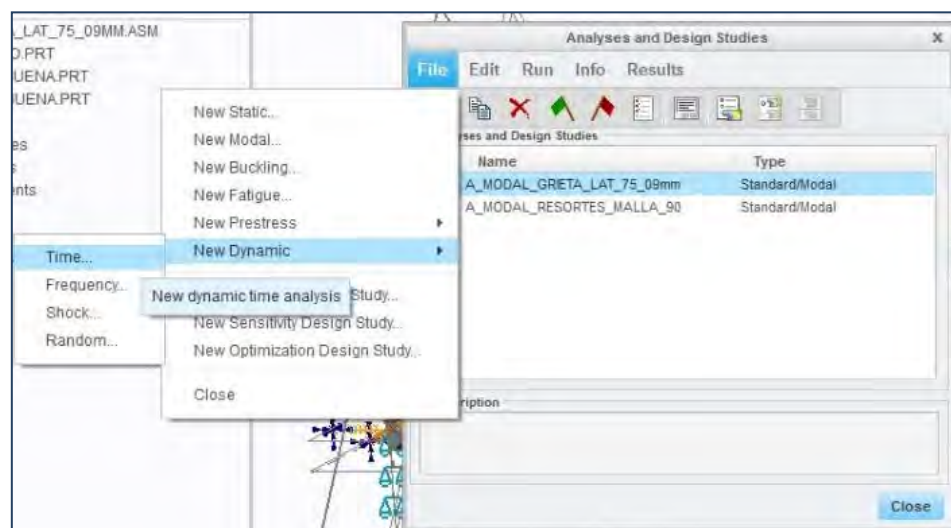


Ilustración 7. 65. Nuevo dynamic time

Ahora definiremos la denominación de nuestro ensayo, en este caso DT_10Hz porque es la primera frecuencia con la que comenzaremos a trabajar y lo referiremos al análisis modal que nos sirva como base en Load Set/Components.

Este es el momento de incorporar la función de tipo senoidal, para nuestro ensayo impulsivo (Ilustración 7.66).

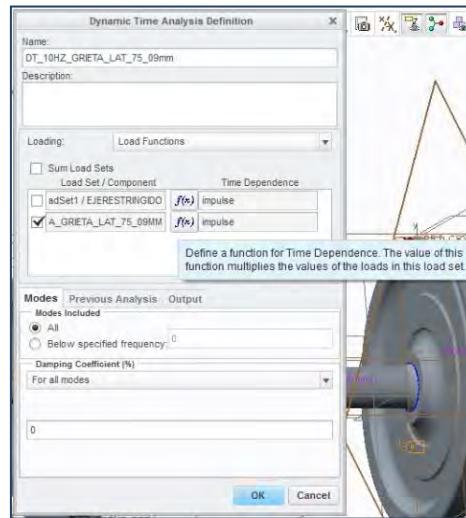


Ilustración 7. 66. Introducimos la función impulsiva

Accedemos a New... e incorporamos nuestra función con las características deseadas (Ilustración 7.67).

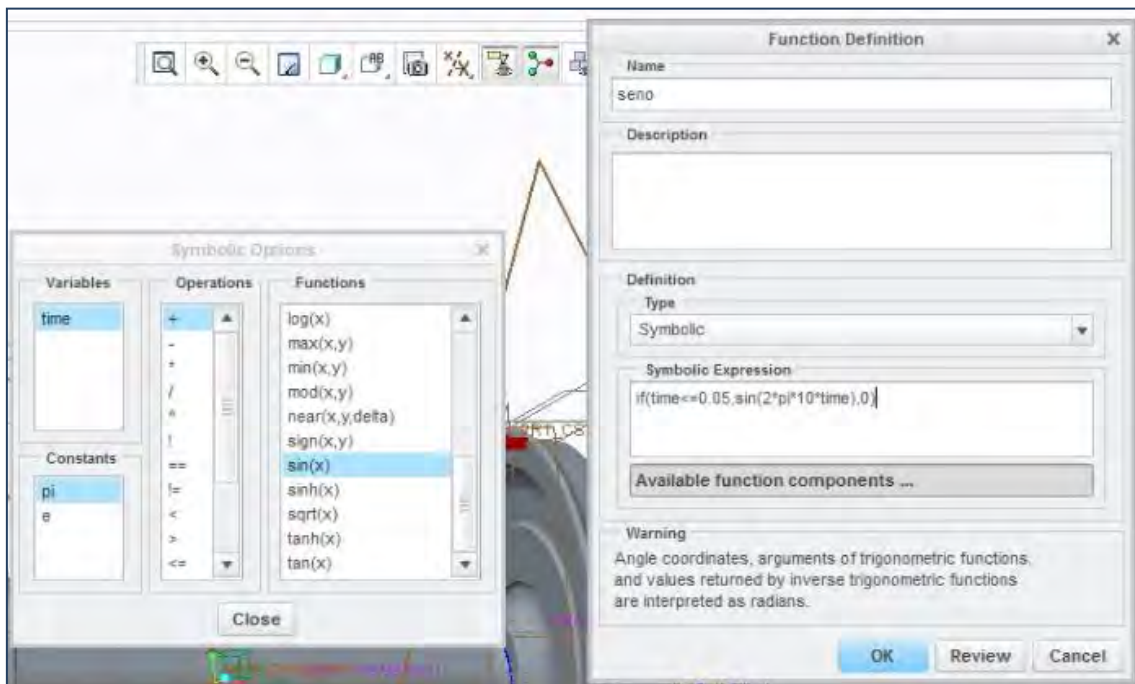


Ilustración 7. 67. Definición de la función tipo seno, con las características requeridas

La pestaña available functions components, nos sirve para chequear la gráfica de nuestra función seno. La forma deseada para nuestro caso de estudio impulsivo, es la existencia del seno, de 0 a π , siendo 0 para el resto de valores, ya que únicamente deseamos introducir un pulso de carga sobre nuestro sistema (Ilustración 7.68).

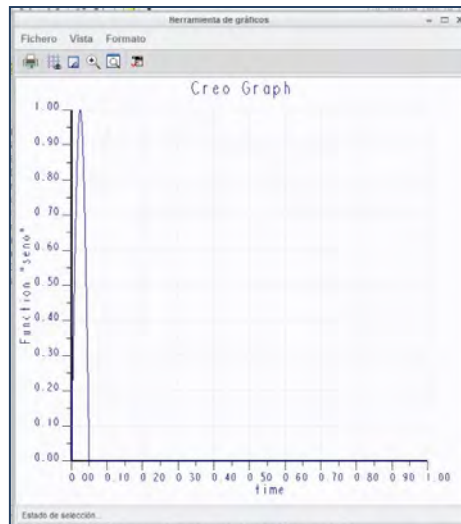


Ilustración 7. 68. Gráfica de la función seno introducida

A medida que vayamos aumentando la frecuencia, debemos de ir adaptando los parámetros de nuestra función para que se corresponda con la deseada. Una vez introducida función 'seno' el programa nos devuelve a la ventana anterior. En ella Incluiremos todos los modos al ensayo e incorporaremos un coeficiente de amortiguamiento del 1% (Ilustración 7.69).

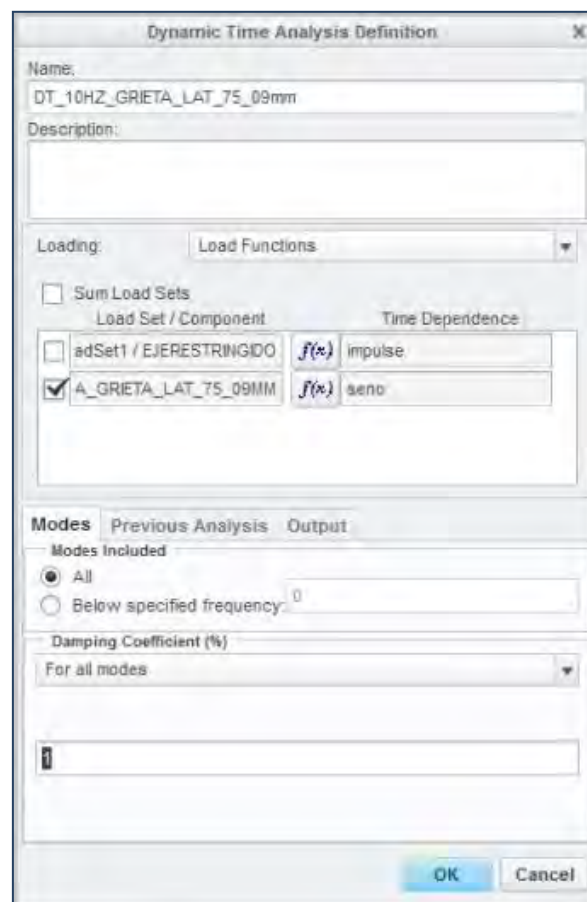


Ilustración 7. 69. Coeficiente de amortiguamiento

Pasamos a la pestaña Previous Analysis en la que seleccionaremos el uso de los modos de los previos análisis. Y por último en output seleccionaremos tensiones y rotaciones en el cálculo y definiremos un tiempo máximo de 1.

Con este paso hemos terminado de definir todas las características del dynamic time. Ahora para ejecutarlo procederemos de forma análoga a los ensayos modales, clickando en Start run.

Tras el lapso de computación se nos ejecuta el análisis de forma óptima (Ilustración 7.70).

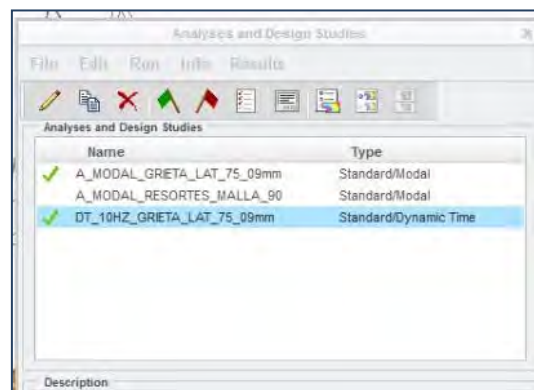


Ilustración 7. 70. Dynamic time ejecutado

7.12.2. MÉTODO DE EXPORTACIÓN DE DATOS

Una vez realizados todos los DT y dentro del menú Analyses and Studies, seleccionamos Review Results from a Design para el ensayo deseado. Accederemos de este modo a una nueva ventana, que nos va a servir para obtener la gráfica del DT de cada una de las magnitudes evaluadas en uno de los 6 puntos de estudio y para el nivel de grieta de ensayo (Ilustración 7.71). En la pestaña Quantity, Measure, clicamos sobre el botón de la gráfica, con lo que se nos mostrará una pequeña ventana donde elegir el punto y la magnitud a representar. Aceptamos en Ok and Show y observamos la gráfica obtenida (Ilustración 7.72).

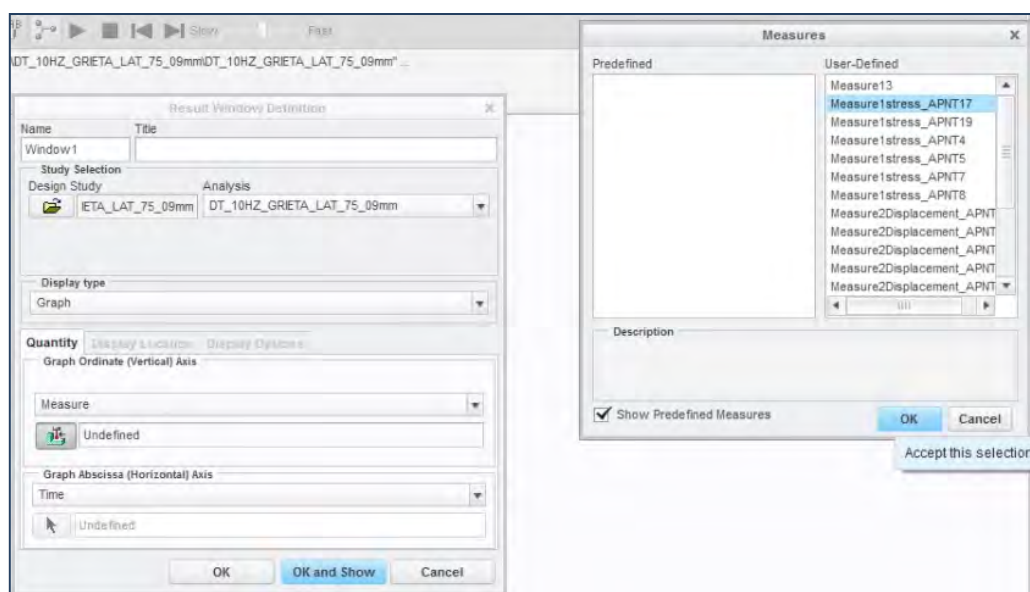


Ilustración 7. 71. Acceso a los resultados de los dynamic time

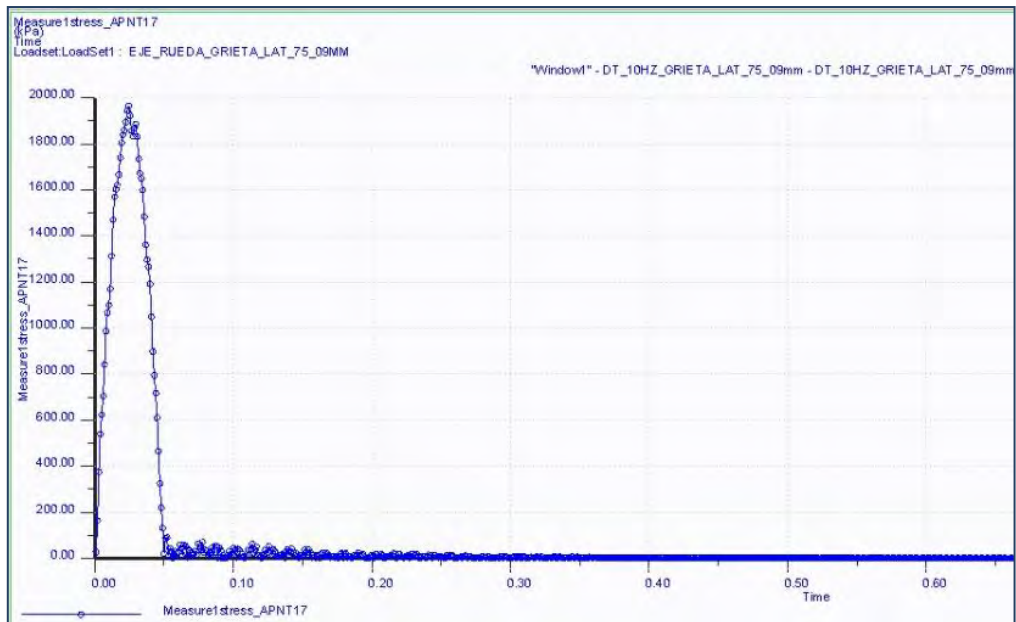


Ilustración 7.72. Gráfica obtenida en uno de los ensayos impulsivos

Para trabajar de forma más flexible, obteniendo todos los valores numéricos asociados a esta gráfica y poder manejarlos e interpretarlos posteriormente, vamos a exportar los datos a Excel. Accedemos a *File, Export to Excel* y generamos un nuevo fichero con estos datos (Ilustración 7.73).

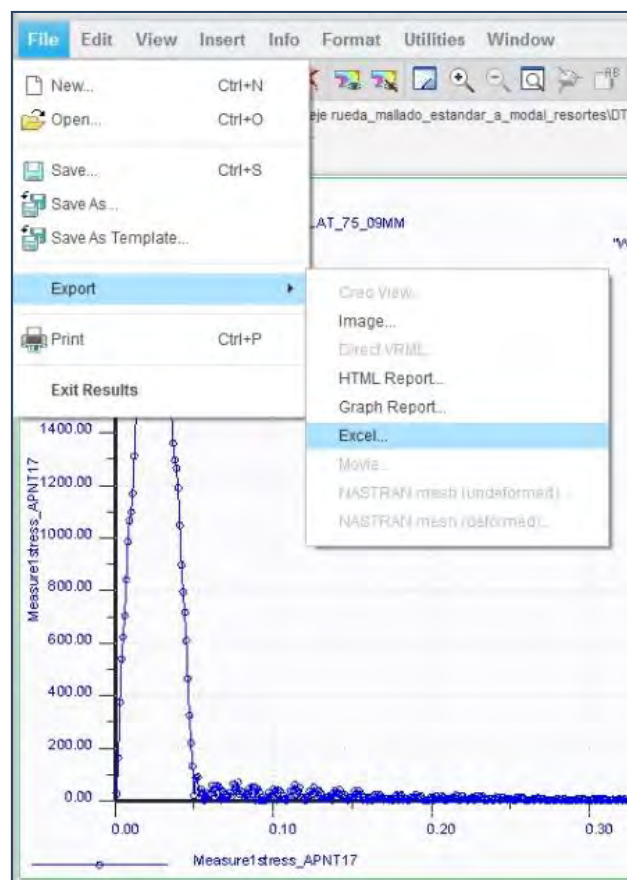


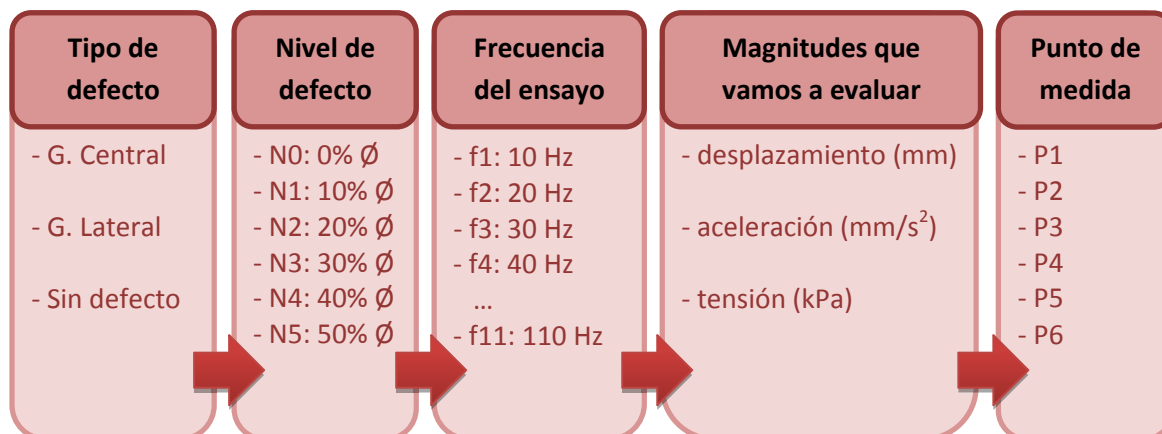
Ilustración 7.73. Exportar datos a Excel

7.13. INTRODUCCIÓN DE MEDIDAS ESTADÍSTICAS MEDIANTE MATLAB

Una vez almacenados en Excel todos los datos de los dynamic time, vamos a proceder a introducirlos de forma ordenada en el programa de MATLAB, en el que tenemos definidas las medidas estadísticas con las que vamos a trabajar. Seguiremos estos pasos:

Paso 1. Ordenar todos los datos de Excel:

Apilaremos los datos obtenidos con cada *dynamic time* siguiendo este criterio:



De esta forma, se organizarán los datos como se muestra en siguiente la tabla de ejemplo:

Tabla 7. 1. Ejemplo de organización de los datos de los ensayos dt

Dynamic Time - P6 - GRIETA CENTRAL - N0: 0% del Ø - Tensión (kPa)											
time (s)	Tensión para los valores de frecuencia ensayados con la función pulsante sinusoidal										
	10 Hz	20 Hz	30 Hz	40 Hz	50 Hz	60 Hz	70 Hz	80 Hz	90 Hz	100 Hz	110 Hz
0,001024	T10.1	T20.1	T30.1	T40.1	T50.1	T60.1	T70.1	T80.1	T90.1	T100.1	T110.1
0,002049	T10.2	T20.2	T30.2	T40.2	T50.2	T60.2	T70.2	T80.2	T90.2	T100.2	T110.2
...
1	T10.n	T20.n	T30.n	T40.n	T50.n	T60.n	T70.n	T80.n	T90.n	T100.n	T110.n

Tendremos ahora 6 tablas (una para cada nivel de defecto), con los datos tomados en el Punto 6 y con 998 valores de tensión; obtenidos de cada dynamic time, debido al pulso de carga sinusoidal existente desde 0s (0 rad) hasta 1s (π rad). Sucederá lo mismo para los ensayos con grieta lateral, y para ambas (grietas central y lateral) con las magnitudes desplazamiento y aceleración. Y por supuesto, todo ello para los otros 5 puntos.

Paso 2. Introducir los datos en MATLAB y extraerlos mediante las medidas estadísticas:

En este punto es donde resulta interesante introducir los parámetros estadísticas a través de MATLAB; consiguiendo un doble objetivo, sintetizar el volumen de datos y observar tendencias de las magnitudes estudiadas contrastadas con frecuencias y niveles de defecto. Los datos que obtendremos al introducir en el programa de MATLAB las 6 tablas anteriormente mencionadas, los vamos a mostrar en el siguiente capítulo. Datos que graficaremos para enriquecer el estudio:





CAPÍTULO 8

Resultados



8.1. INTRODUCCIÓN

Una vez que hemos descrito las fases de desarrollo, partiendo del diseño de las piezas hasta la ejecución de los análisis modales y los dynamic time; ya podemos mostrar los resultados obtenidos en cada uno de los apartados. Comenzaremos con los análisis modales (desde Ilustración 8.1 hasta Ilustración 8.10)

8.2. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS MODALES

Modo 1:

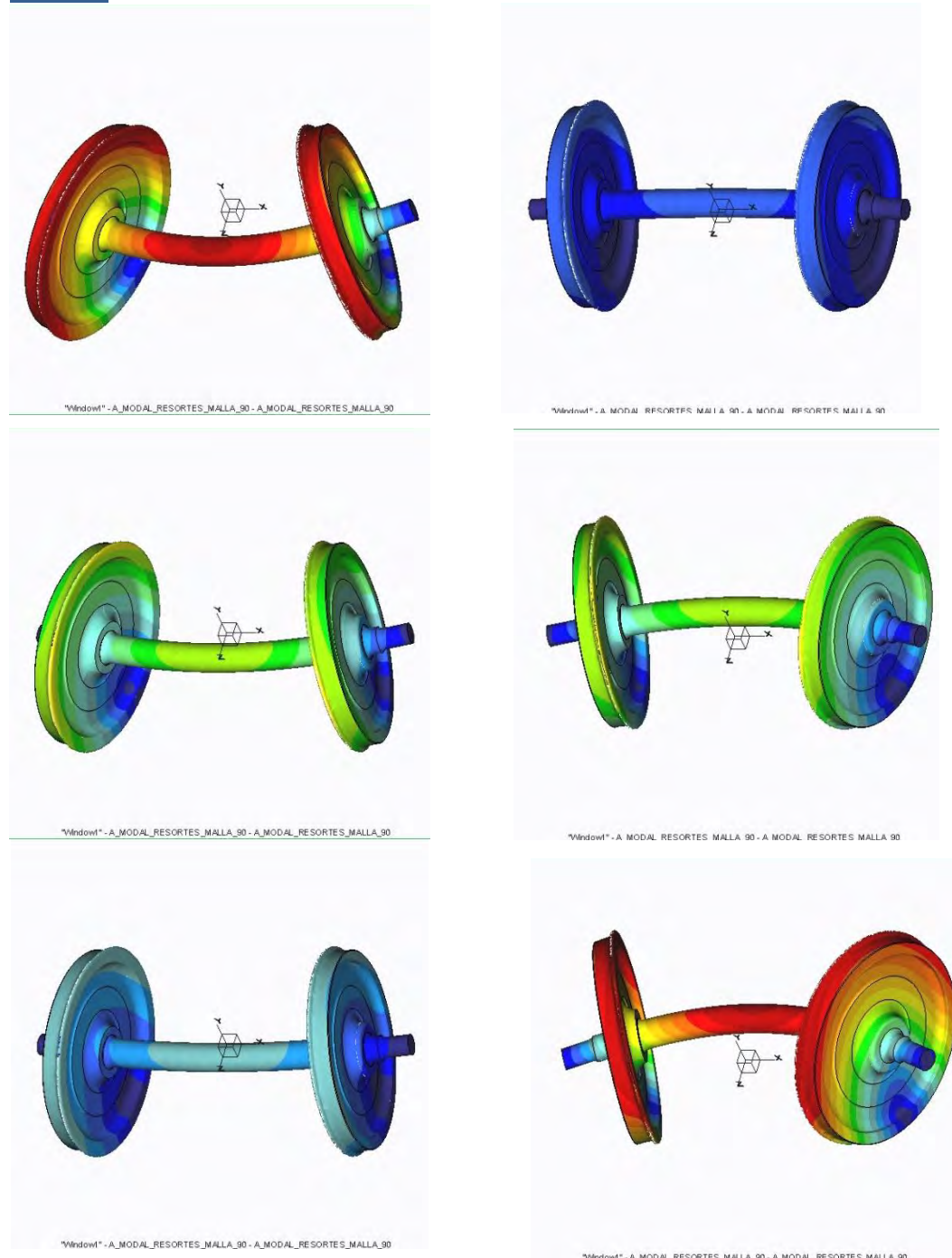


Ilustración 8. 1. Modo 1

Modo 2:

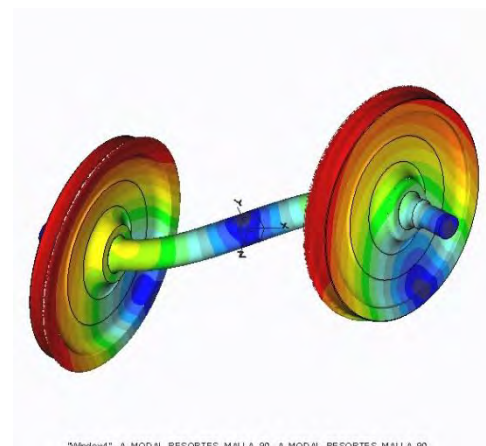
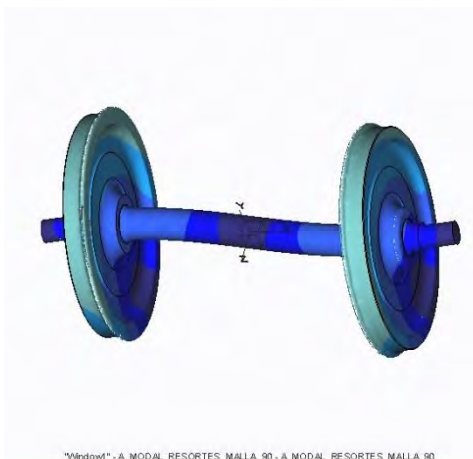
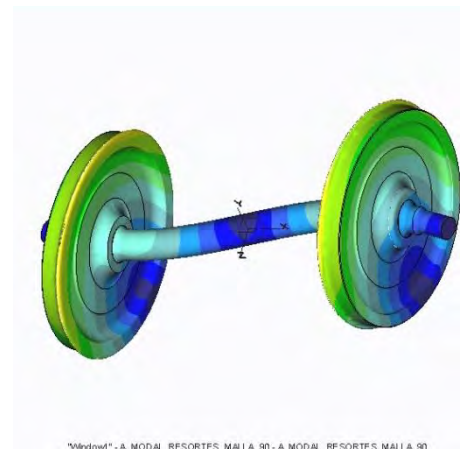
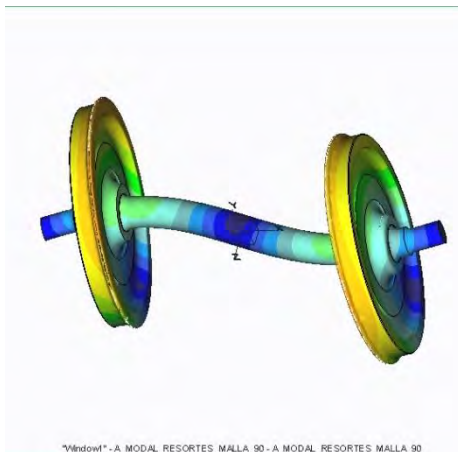
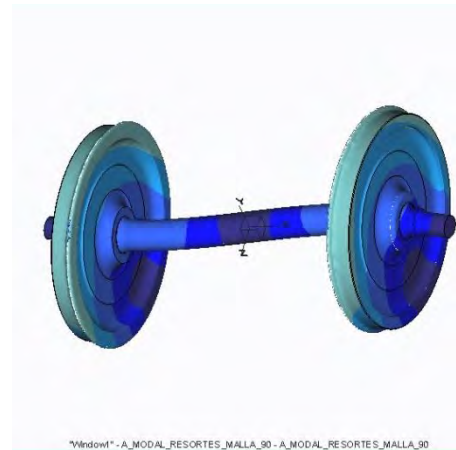
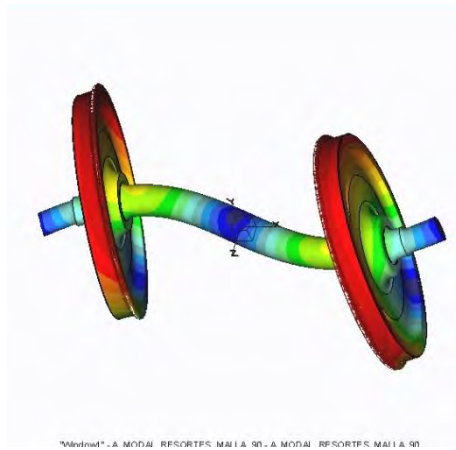


Ilustración 8. 2. Modo 2

Modo 3:

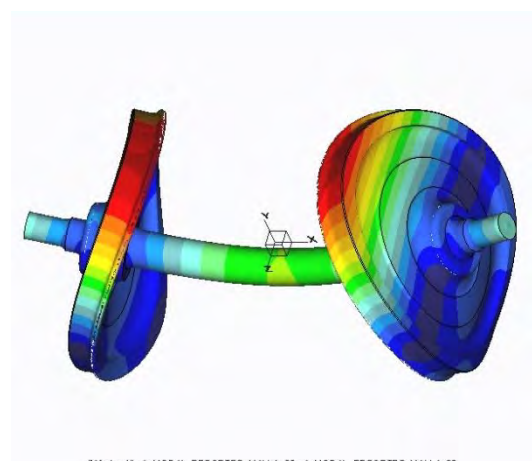
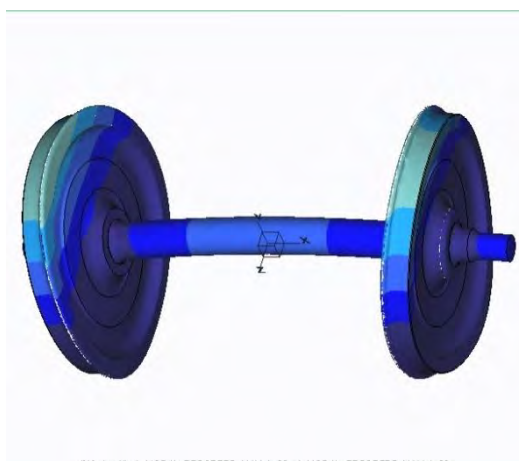
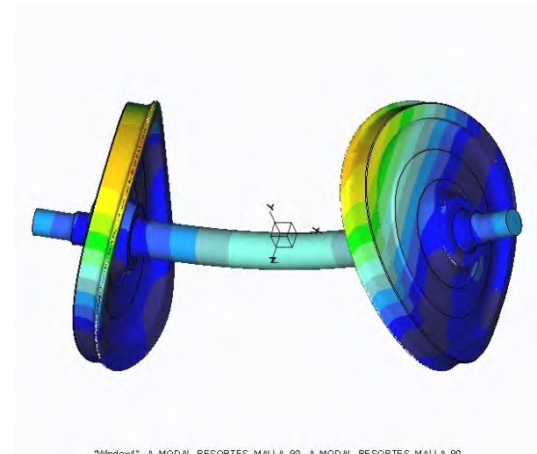
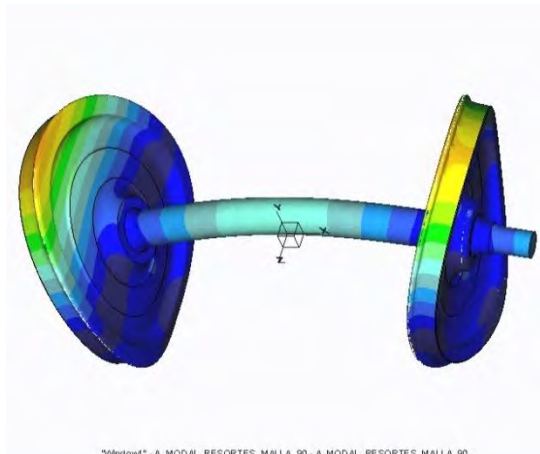
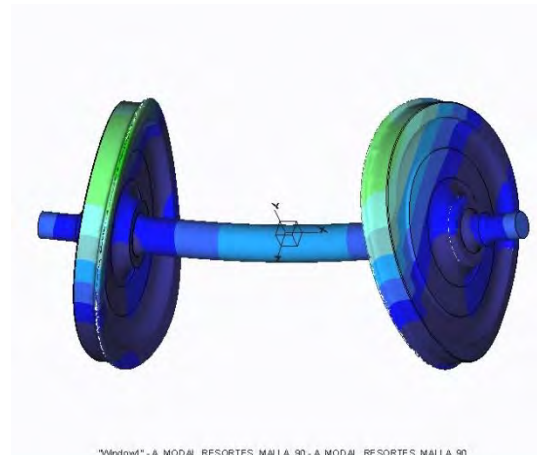
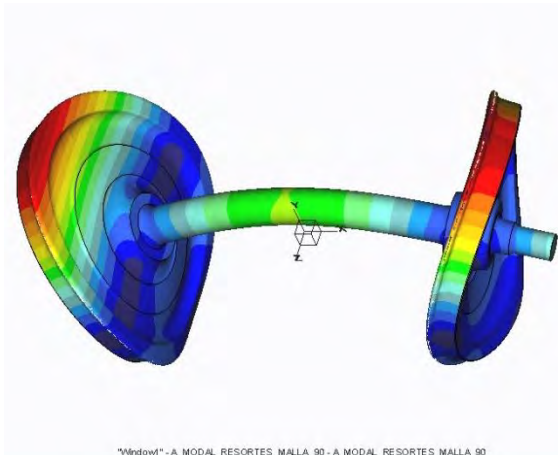


Ilustración 8. 3. Modo 3

Modo 4:

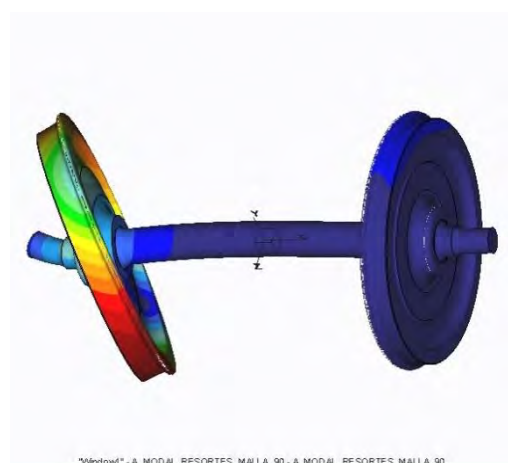
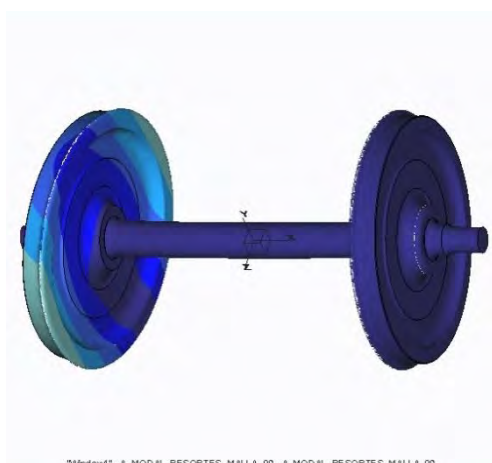
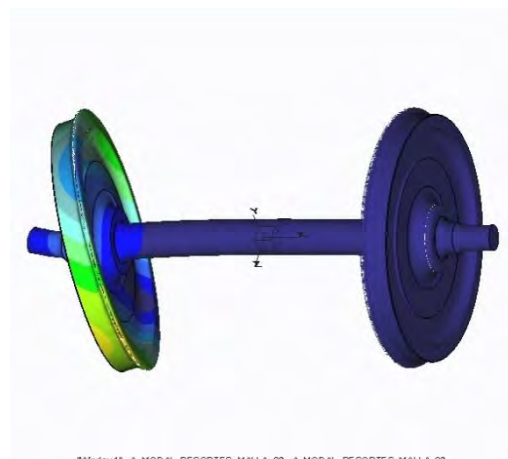
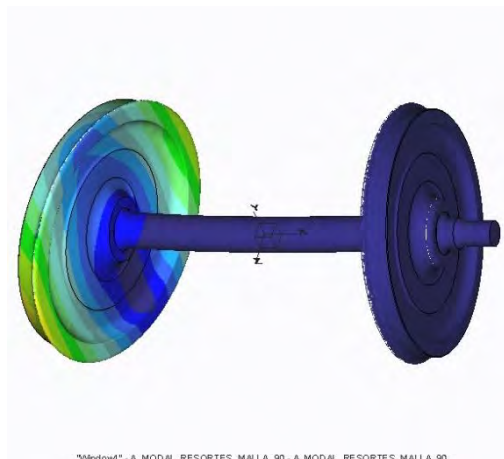
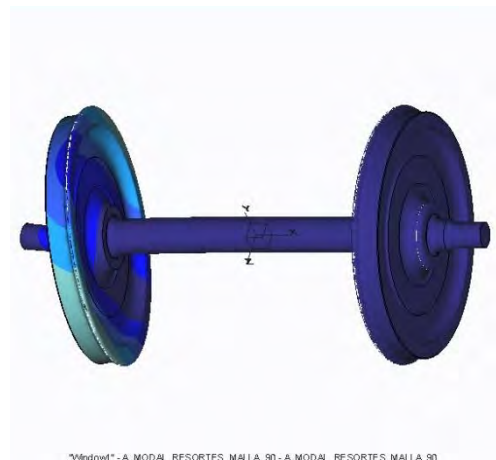
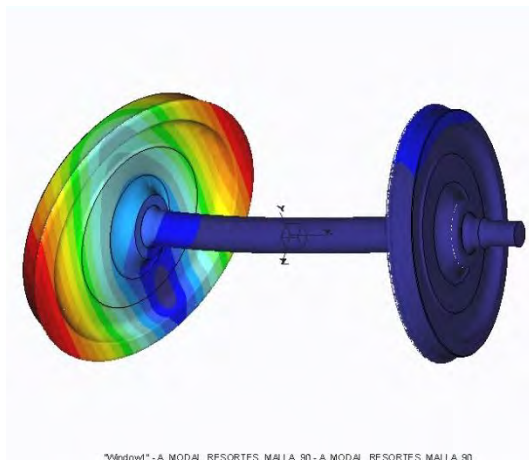


Ilustración 8. 4. Modo 4

Modo 5:

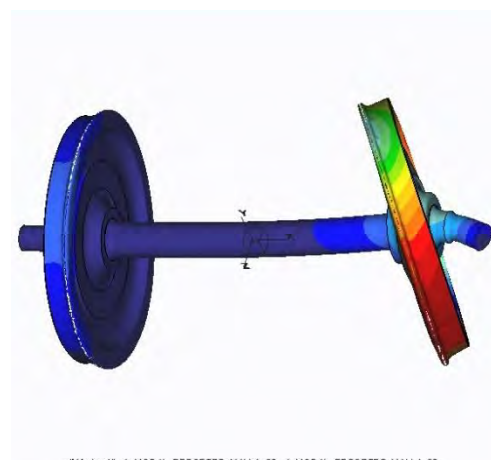
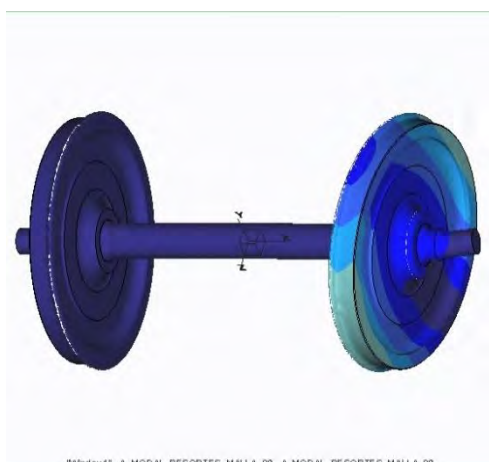
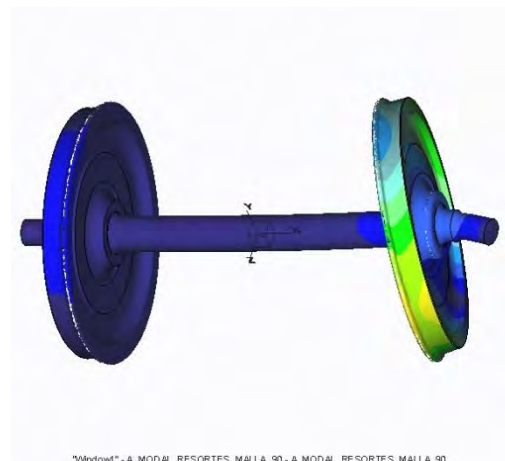
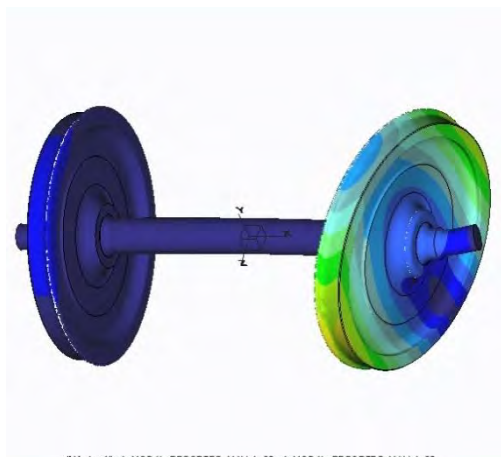
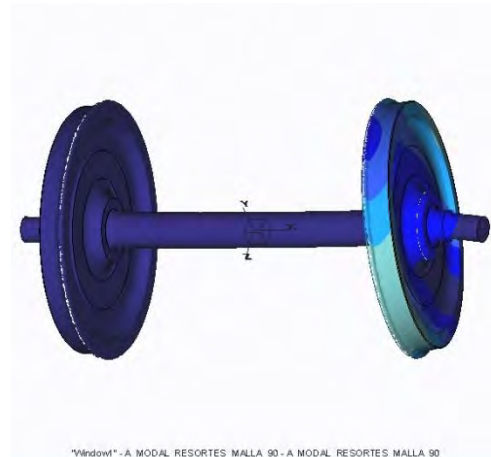
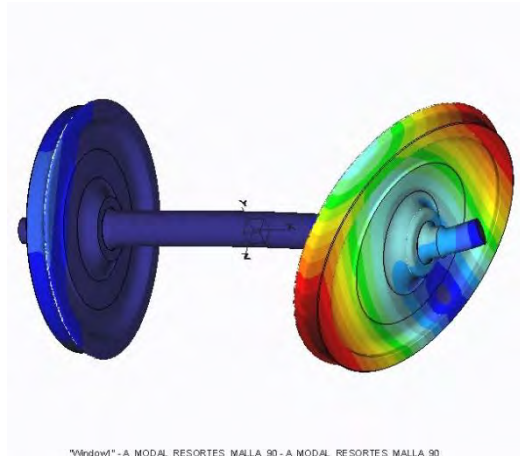


Ilustración 8. 5. Modo 5

Modo 6:

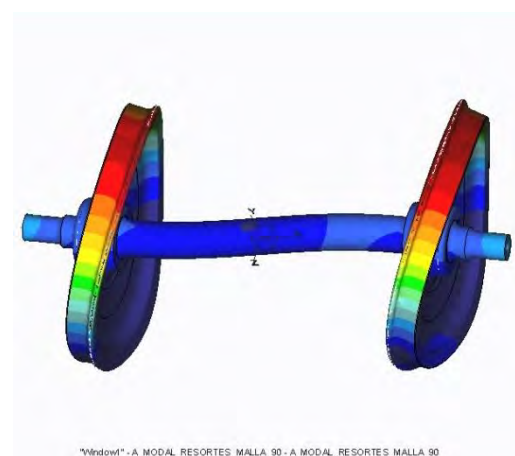
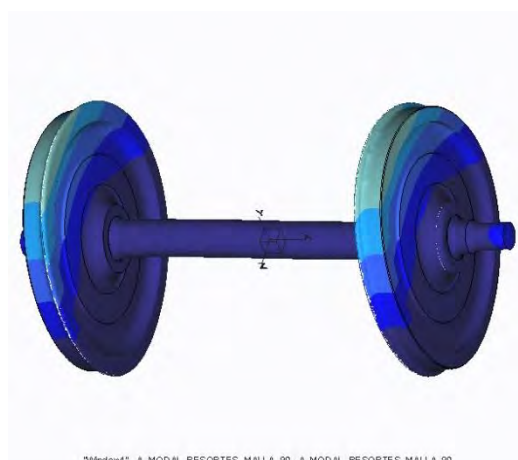
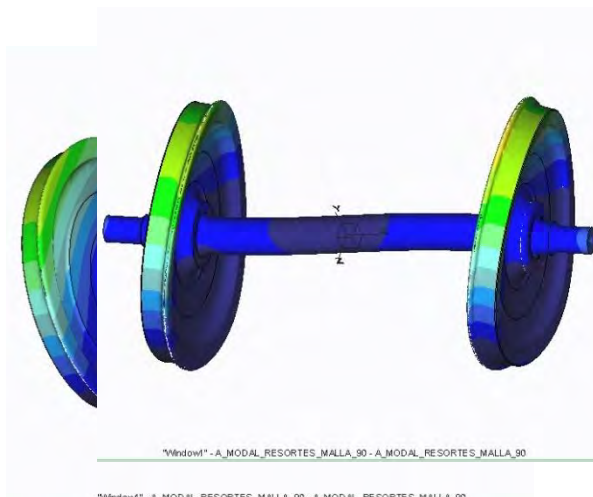
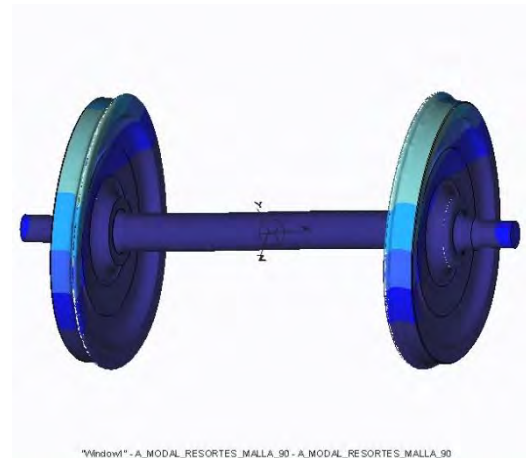
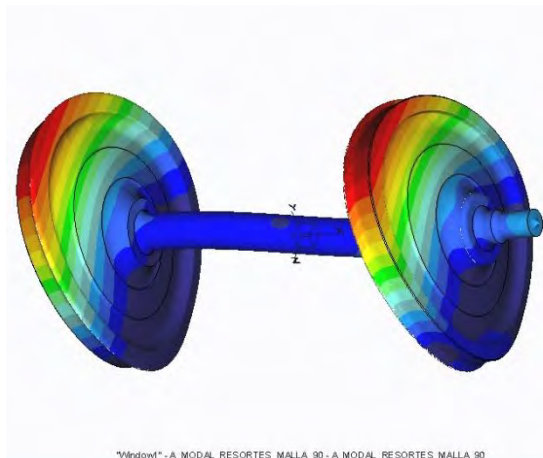


Ilustración 8. 6. Modo 6

Modo 7:

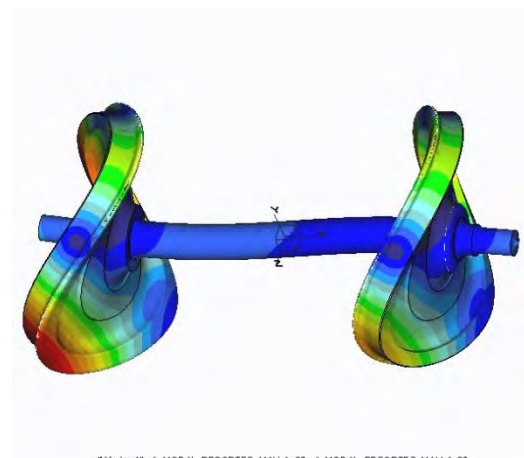
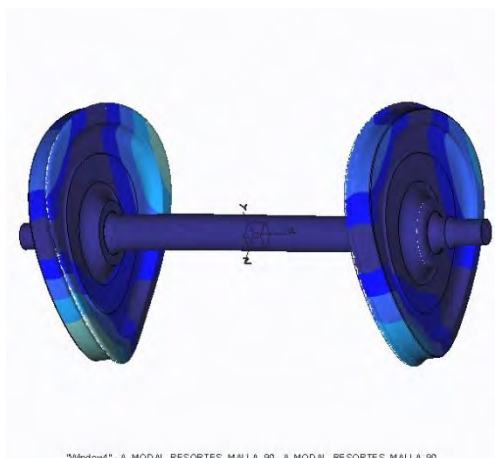
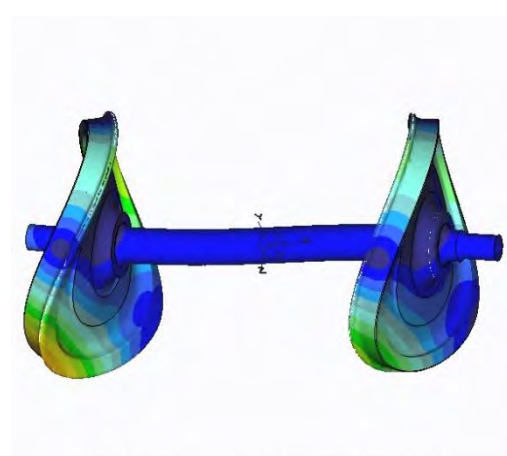
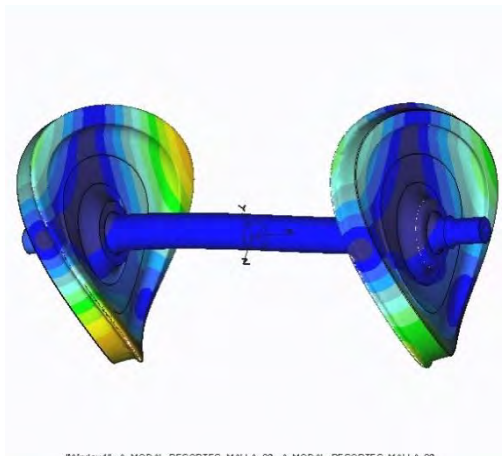
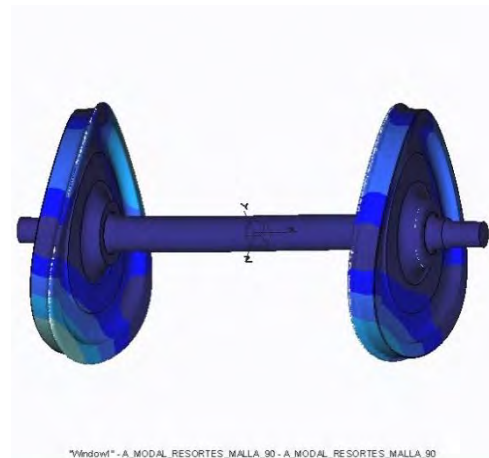
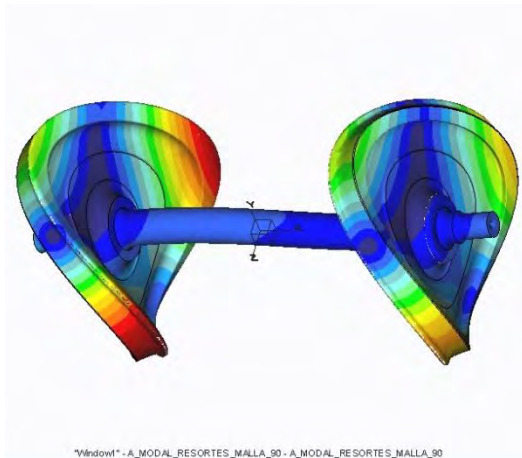


Ilustración 8. 7. Modo 7

Modo 8:

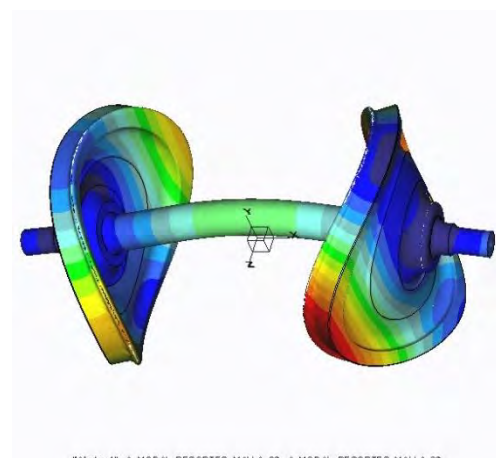
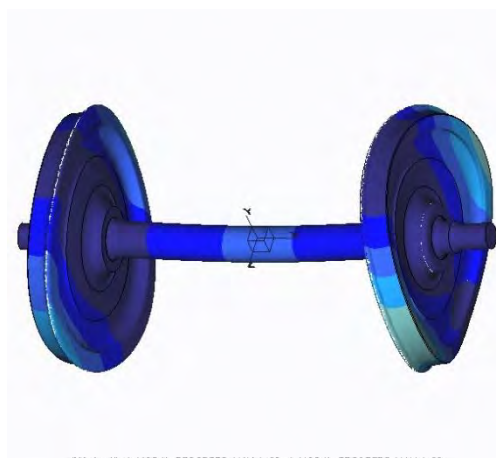
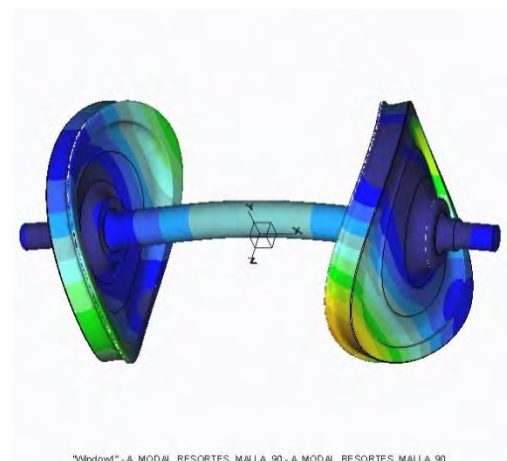
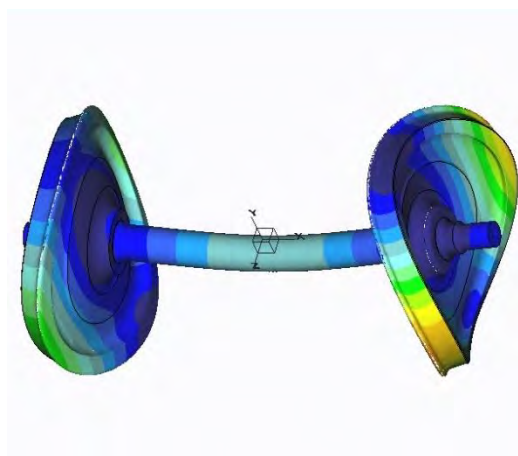
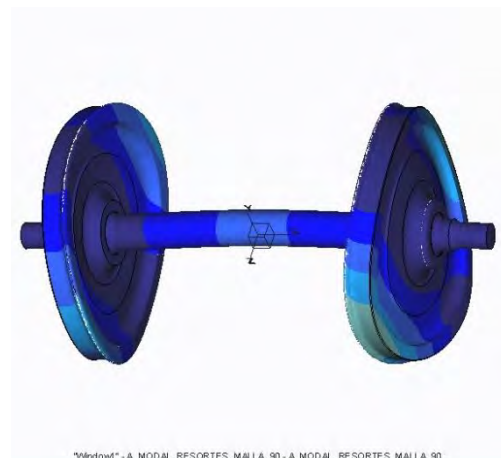
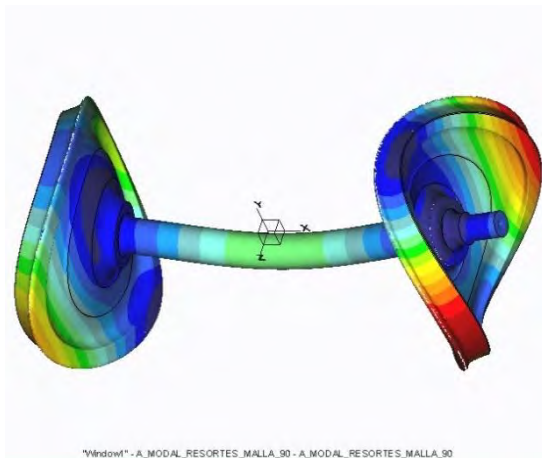


Ilustración 8. 8. Modo 8

Modo 9:

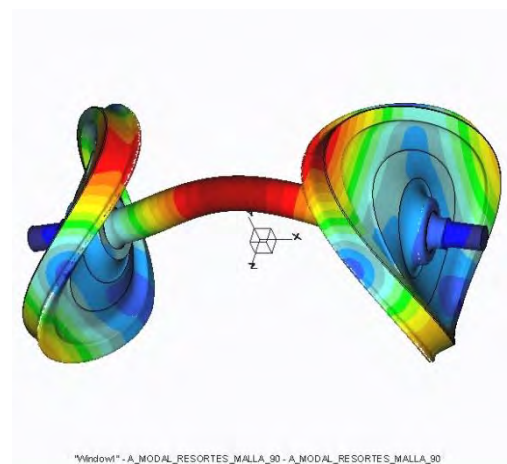
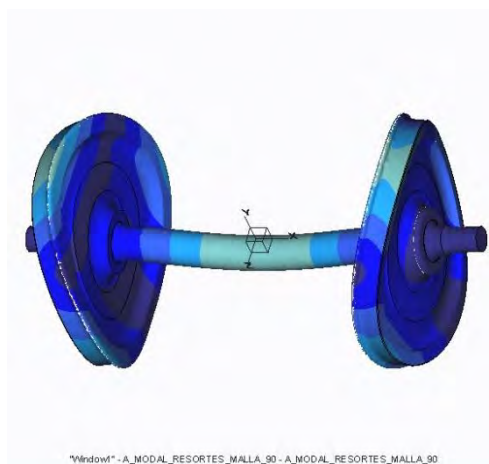
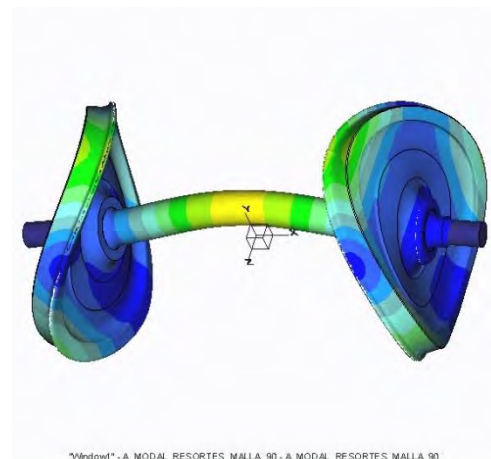
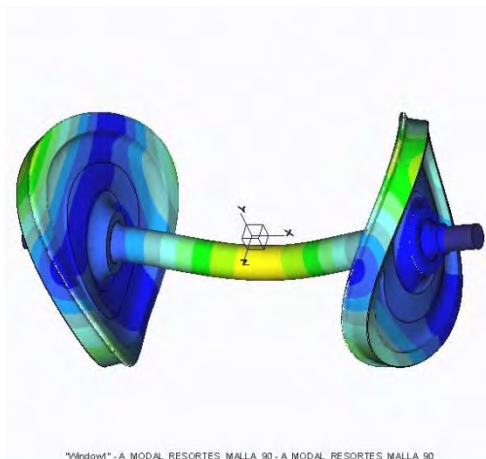
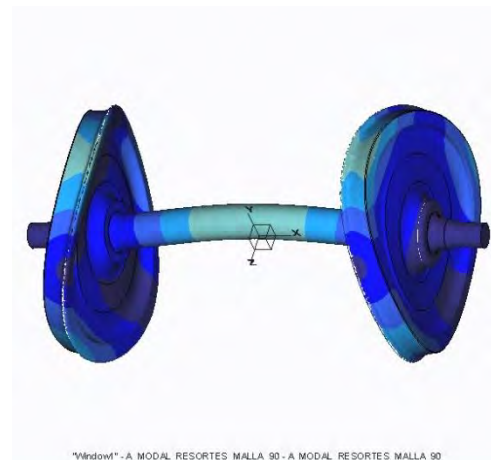
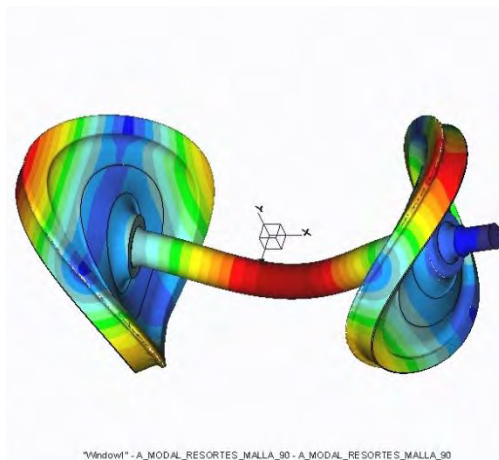


Ilustración 8. 9. Modo 9

Modo 10:

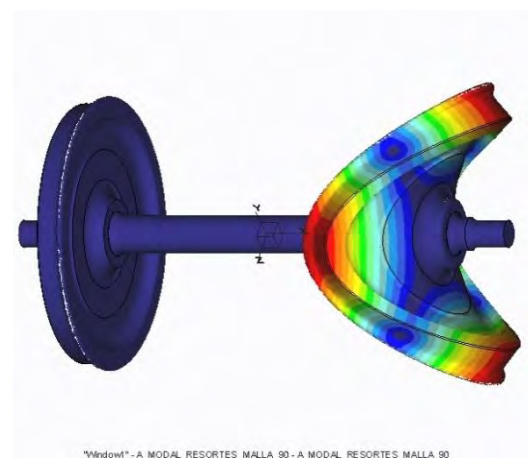
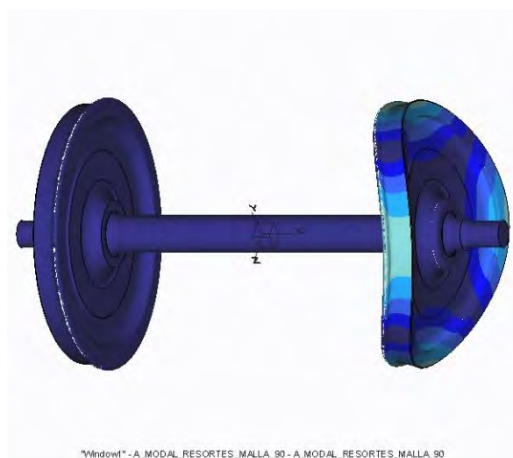
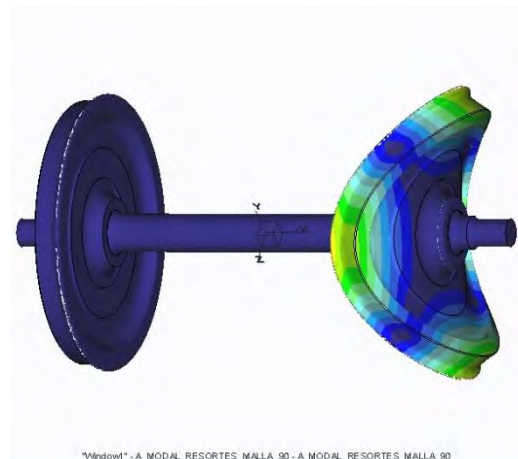
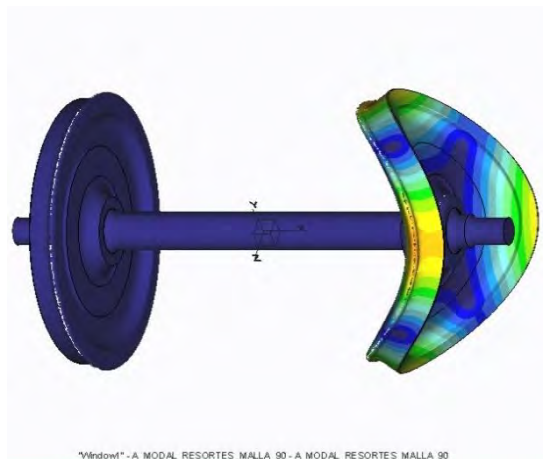
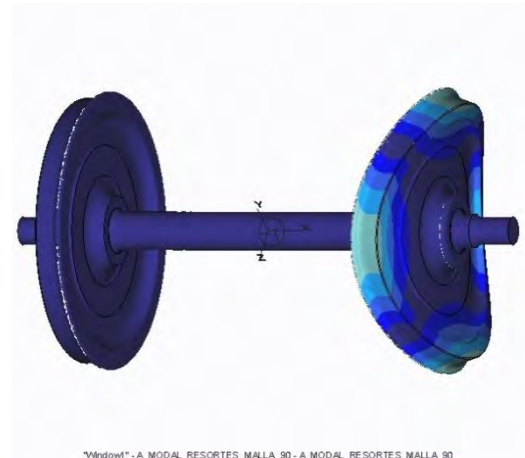
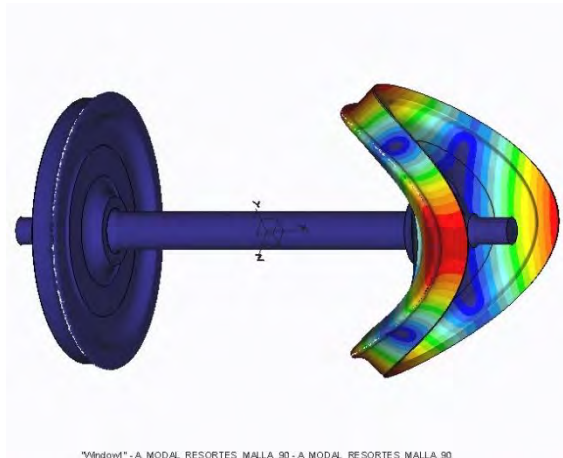


Ilustración 8. 10. Modo 10

Se puede observar que las partes representadas en color azul oscuro, se corresponden con la mínima tensión soportada por el material, frente a aquellas en color rojo oscuro, que son las que se encuentran sometidas a un mayor estado tensional. La gama de colores intermedios refleja la evolución de las tensiones desde un extremo hasta el opuesto.

Tras trabajar de manera gráfica con los modos de vibración, mostramos las frecuencias de cada uno de ellos (desde Tabla 8.1 hasta Tabla 8.11).

Tabla 8. 1. Eje sin defectos

Incl...	Modes
<input type="checkbox"/>	Mode1(30.9507Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode2(84.1367Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode3(117.34Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode4(124.714Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode5(128.194Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode6(131.188Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode7(191.988Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode8(196.159Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode9(226.664Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode10(244.162Hz)

Tabla 8. 2. Eje GC - N1

Incl...	Modes
<input type="checkbox"/>	Mode1(30.8456Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode2(83.481Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode3(117.08Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode4(122.636Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode5(125.303Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode6(126.22Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode7(187.918Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode8(195.765Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode9(226.611Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode10(244.228Hz)

Tabla 8. 3. Eje GC - N2

Incl...	Modes
<input checked="" type="checkbox"/>	Mode1(30.8521Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode2(83.5775Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode3(116.495Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode4(122.1Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode5(126.688Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode6(128.394Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode7(189.254Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode8(195.6Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode9(225.642Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode10(244.225Hz)

Tabla 8. 4. Eje GC - N3

Incl...	Modes
<input checked="" type="checkbox"/>	Mode1(30.7522Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode2(83.6511Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode3(115.168Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode4(123.462Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode5(126.647Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode6(127.273Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode7(188.83Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode8(195.496Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode9(223.92Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode10(244.215Hz)

Tabla 8. 5. Eje GC – N4

Incl...	Modes
<input checked="" type="checkbox"/>	Mode1(30.4317Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode2(83.0479Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode3(112.836Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode4(122.559Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode5(124.029Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode6(124.234Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode7(186.72Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode8(195.003Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode9(221.141Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode10(244.263Hz)

Tabla 8. 6. Eje GC - N5

Incl...	Modes
<input checked="" type="checkbox"/>	Mode1(30.122Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode2(83.6381Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode3(109.472Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode4(125.837Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode5(126.485Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode6(130.175Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode7(191.141Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode8(194.69Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode9(216.948Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode10(244.111Hz)

Tabla 8. 7. Eje GL - N1

Incl...	Modes
<input checked="" type="checkbox"/>	Mode1(30.925Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode2(83.97Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode3(117.273Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode4(124.123Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode5(127.621Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode6(128.882Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode7(190.112Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode8(195.977Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode9(226.894Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode10(244.164Hz)

Tabla 8. 8. Eje GL - N2

Incl...	Modes
<input checked="" type="checkbox"/>	Mode1(30.8895Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode2(83.2772Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode3(117.189Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode4(121.813Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode5(124.79Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode6(126.678Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode7(187.732Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode8(195.652Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode9(226.926Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode10(244.163Hz)

Tabla 8. 9. Eje GL - N3

Incl...	Modes
<input checked="" type="checkbox"/>	Mode1(30.8337Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode2(83.4217Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode3(116.996Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode4(125.415Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode5(126.123Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode6(127.086Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode7(188.748Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode8(195.161Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode9(224.2Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode10(244.163Hz)

Tabla 8. 10. Eje GL - N4

Incl...	Modes
<input checked="" type="checkbox"/>	Mode1(30.7537Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode2(82.716Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode3(116.588Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode4(125.594Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode5(126.254Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode6(127.325Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode7(189.073Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode8(194.492Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode9(222.613Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode10(244.312Hz)

Tabla 8. 11. Eje GL - N5

Incl...	Modes
<input checked="" type="checkbox"/>	Mode1(30.4426Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode2(81.2546Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode3(115.644Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode4(124.571Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode5(125.866Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode6(127.847Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode7(188.449Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode8(193.624Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode9(220.409Hz)
<input type="checkbox"/>	Mode10(244.147Hz)

Estos resultados son totalmente lógicos ya que los valores se corresponden con los modos naturales de vibración para este tipo de ejes montados. Cabe destacar además, que a medida que vamos introduciendo mayor nivel de defecto, el valor de la frecuencia natural para cada modo va disminuyendo de forma proporcional, como consecuencia de la menor rigidez del conjunto.

Tabla 8. 12. Análisis modal del wheelset con defecto central

ANÁLISIS MODAL DEL WHEELSET CON DEFECTO EN LA SECCIÓN CENTRAL DEL EJE										
	Frecuencias obtenidas para cada modo de vibración									
N defecto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N0	30,950	84,137	117,340	124,714	128,194	131,188	191,988	196,159	226,664	244,162
N1	30,846	83,481	117,080	122,636	125,303	126,220	187,918	195,765	226,611	244,228
N2	30,852	83,578	116,495	122,100	126,688	128,394	189,254	195,800	225,642	244,225
N3	30,752	83,651	115,168	123,462	126,647	127,273	188,830	195,496	223,920	244,215
N4	30,431	83,048	112,836	122,559	124,029	124,234	186,720	195,003	221,141	244,263
N5	30,122	83,638	109,472	125,837	126,485	130,175	191,141	194,690	216,948	244,111

En la tabla anterior (Tabla 8.12) hemos situado todas las frecuencias obtenidas para cada modo de vibración y nivel de defecto, trabajando con las grietas situadas en la sección central del eje.

Ahora vamos a representar la evolución de estas frecuencias de forma gráfica en las siguientes ilustraciones.

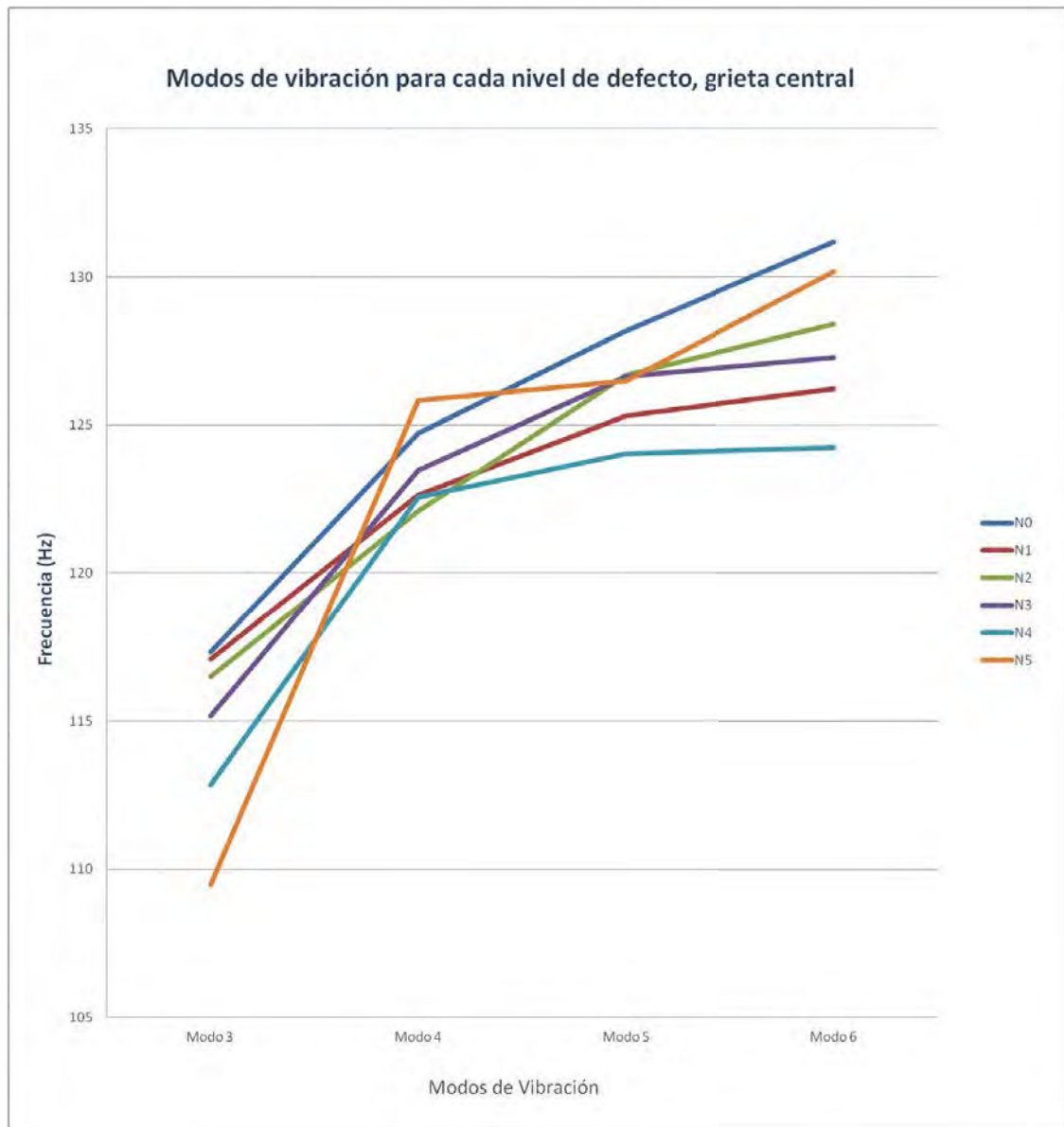


Ilustración 8. 11. Frecuencias para los Modos del 3 al 6, Grieta Central

En esta imagen (Ilustración 8.11) se pueden observar las frecuencias de los modos de vibración, concretamente los modos del tercero al sexto. Cada línea representa un nivel de defecto, partiendo de N0 para el eje en condiciones idóneas y desde N1 hasta N5 para los 5 niveles de grieta central.

La tendencia existente, de disminución de la frecuencia de cada modo al aumentar la profundidad de la grieta, se ve reflejada en la imagen anterior.

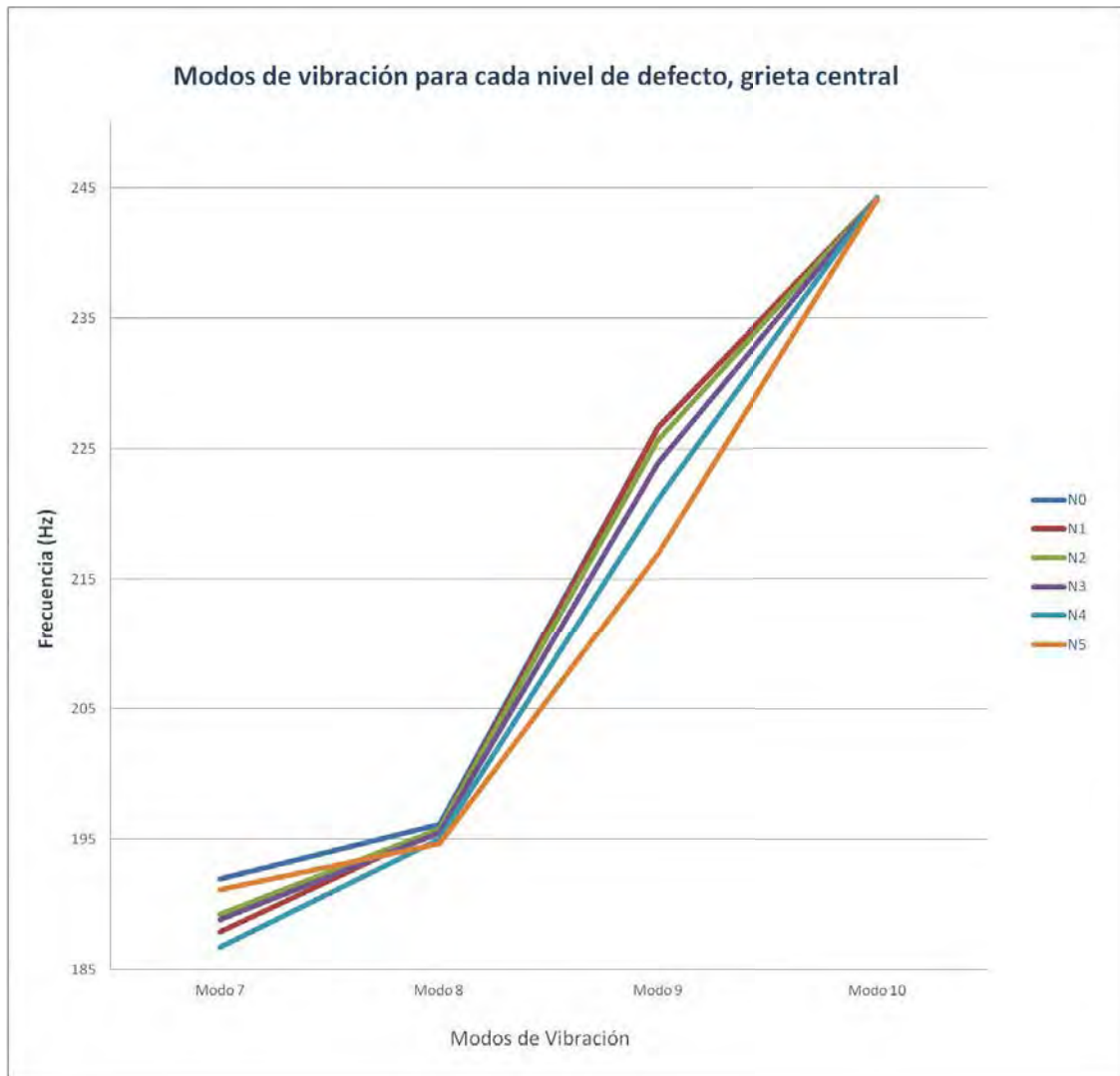


Ilustración 8. 12. Frecuencias para los Modos del 7 al 10, Grieta Central

En esta imagen (Ilustración 8.12) se pueden observar las frecuencias de los modos de vibración, concretamente los modos del séptimo al décimo. Cada línea representa un nivel de defecto, partiendo de N0 para el eje en condiciones idóneas y desde N1 hasta N5 para los 5 niveles de grieta central.

La tendencia existente, de disminución de la frecuencia de cada modo al aumentar la profundidad de la grieta, se ve reflejada en la imagen anterior.

Tabla 8. 13. Análisis modal del wheelset con defecto lateral

ANÁLISIS MODAL DEL WHEELSET CON DEFECTO EN LA SECCIÓN LATERAL DEL EJE											
	Frecuencias obtenidas para cada modo de vibración										
N defecto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
N0	30,950	84,137	117,340	124,714	128,194	131,188	191,988	196,159	226,664	244,162	
N1	30,925	83,970	117,273	124,123	127,621	128,882	190,112	195,977	226,894	244,164	
N2	30,890	83,277	117,189	121,813	124,790	126,678	187,732	195,652	226,926	244,163	
N3	30,834	83,421	116,996	125,415	126,123	127,086	188,745	195,161	224,200	244,163	
N4	30,754	82,716	116,588	125,594	126,254	127,325	189,073	194,492	222,613	244,312	
N5	30,443	81,255	115,644	124,571	125,666	127,847	188,449	193,624	220,409	244,147	

En la tabla anterior (Tabla 8.13) hemos situado todas las frecuencias obtenidas para cada modo de vibración y nivel de defecto, trabajando con las grietas situadas en la sección lateral del eje.

Ahora vamos a representar la evolución de estas frecuencias de forma gráfica en las siguientes ilustraciones.

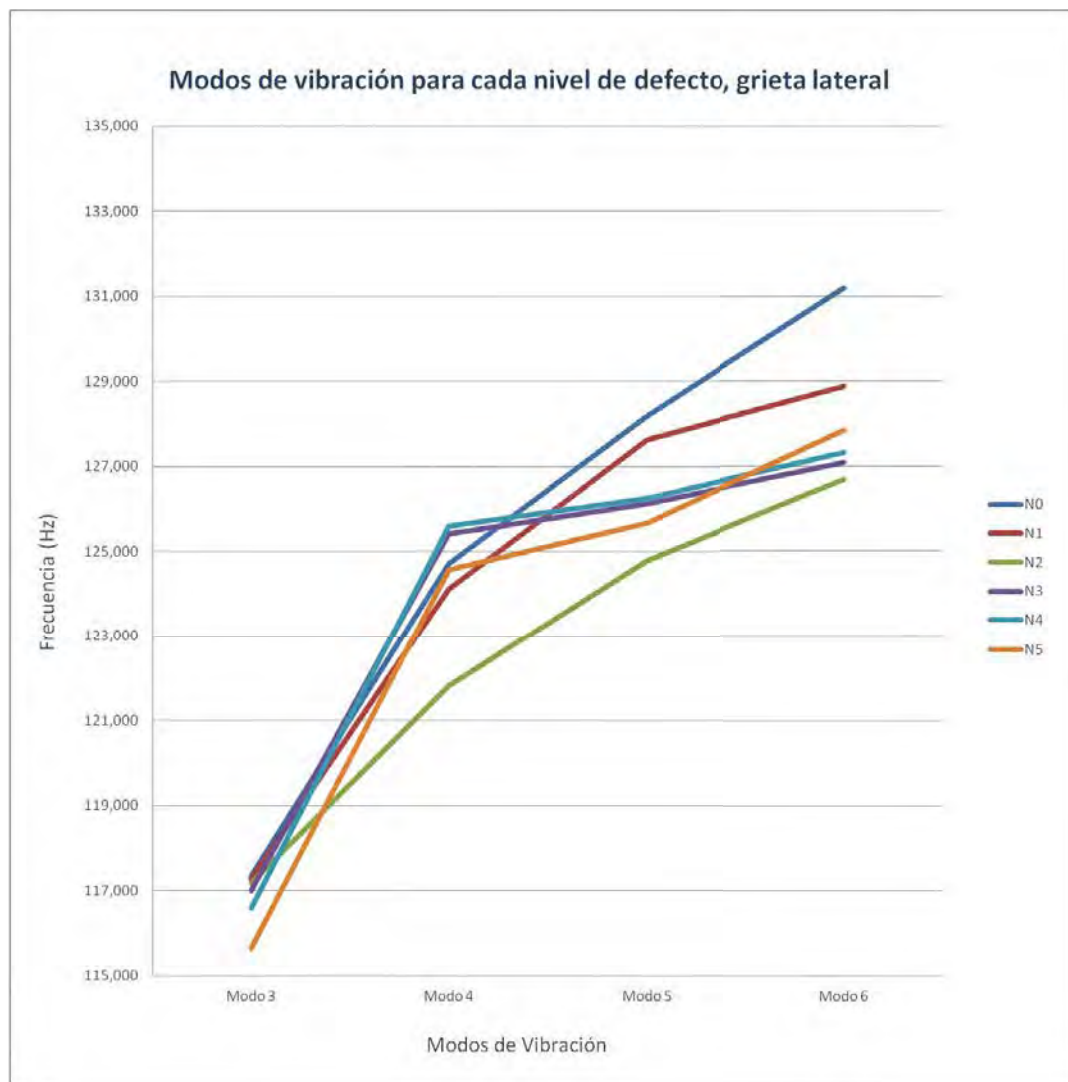


Ilustración 8. 13. Frecuencias para los Modos del 3 al 6, Grieta Lateral

En esta imagen (Ilustración 8.13) se pueden observar las frecuencias de los modos de vibración, concretamente los modos del tercero al sexto. Cada línea representa un nivel de defecto, partiendo de N0 para el eje en condiciones idóneas y desde N1 hasta N5 para los 5 niveles de grieta lateral.

La tendencia existente, de disminución de la frecuencia de cada modo al aumentar la profundidad de la grieta, se ve reflejada en la imagen anterior.

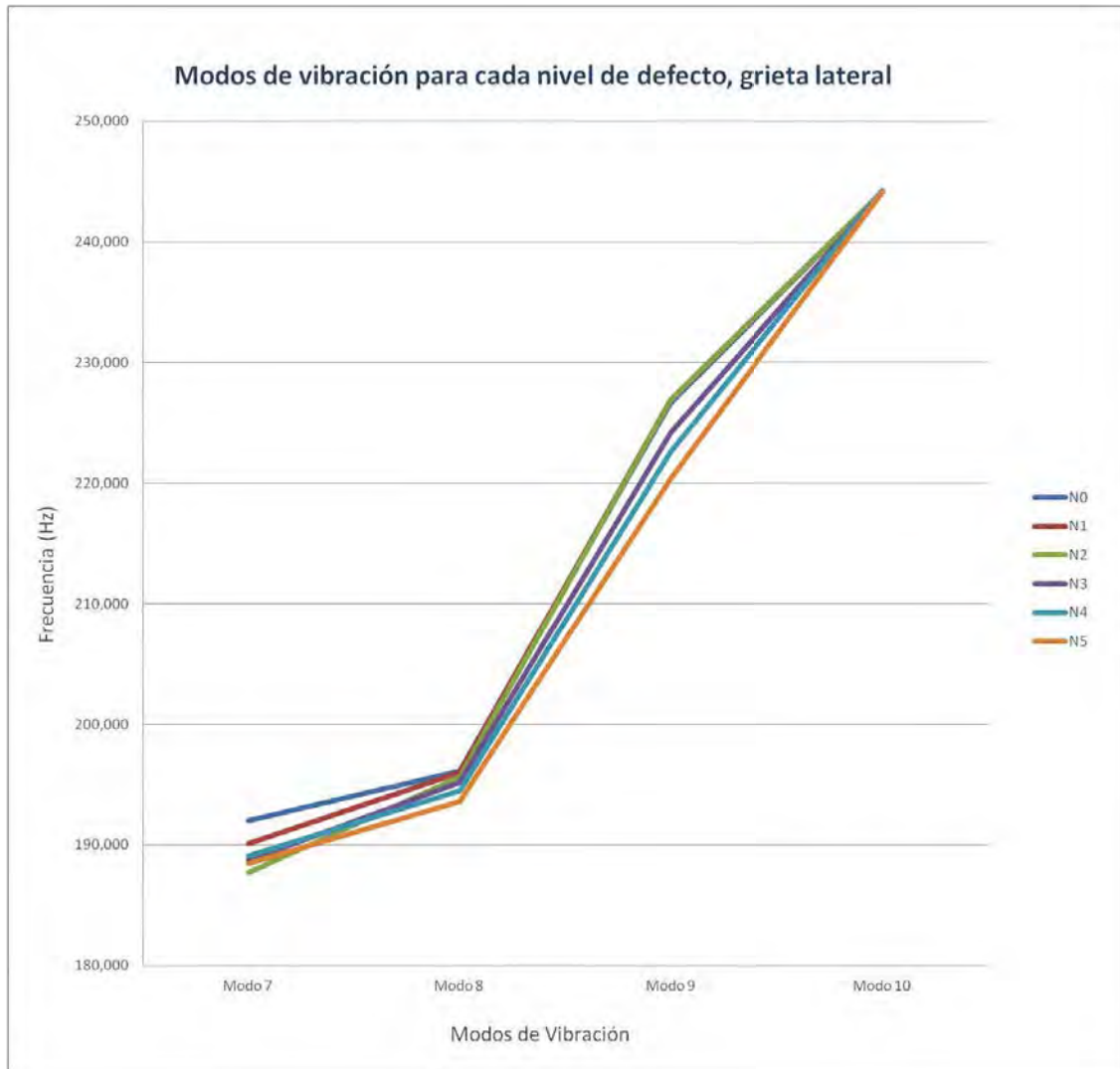


Ilustración 8. 14. Frecuencias para los Modos del 7 al 10, Grieta Lateral

En esta imagen (Ilustración 8.14) se pueden observar las frecuencias de los modos de vibración, concretamente los modos del séptimo al décimo. Cada línea representa un nivel de defecto, partiendo de N0 para el eje en condiciones idóneas y desde N1 hasta N5 para los 5 niveles de grieta lateral.

La tendencia existente, de disminución de la frecuencia de cada modo al aumentar la profundidad de la grieta, se ve reflejada en la imagen anterior.

8.3. RESULTADOS DE LOS DYNAMIC TIME

Obtendremos 9 tablas con parámetros estadísticos para cada uno de los 6 puntos de toma de datos. A su vez existirán 3 magnitudes a evaluar y 2 defectos distintos. Por lo tanto, mediante este proceso obtendremos un gran número de tablas con sus respectivas gráficas asociadas.

Éstas nos van a permitir interpretar los datos y las tendencias generadas al ir modificando las diversas variables con las que estamos trabajando. En este apartado vamos a mostrar una pequeña muestra, la más representativa de todo el conjunto de resultados, que se disponen de forma completa y ordenada en el Anexo B.

P6 - Defecto Central - Media Aritmética: Tensión (kPa):

Tabla 8. 14. P6 - Defecto Central - Media Aritmética: Tensión (kPa)

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	377,841617	388,475896	502,045482	138,486278	808,903439	1186,50388	1344,46046	1439,42654	1449,45702	1424,17866	1383,37606
N1	222,720267	232,26797	298,623034	88,6157726	482,526215	703,505923	795,389434	851,133966	858,203933	839,435161	817,506228
N2	76,0360194	82,0985839	104,91495	35,8177504	170,0186	244,940239	276,032621	294,773976	296,157601	289,996674	281,274921
N3	54,9474033	61,4995191	79,1194556	32,1699293	131,735058	186,439344	208,108968	221,32985	221,344094	216,945769	209,042474
N4	101,872145	115,058728	156,490882	78,689563	284,646808	391,901041	432,66422	455,557041	453,904735	442,047928	426,413704
N5	56,1860206	65,0369832	95,4724187	67,8838523	194,738214	257,954372	278,712101	291,273775	287,296111	278,347235	277,789723

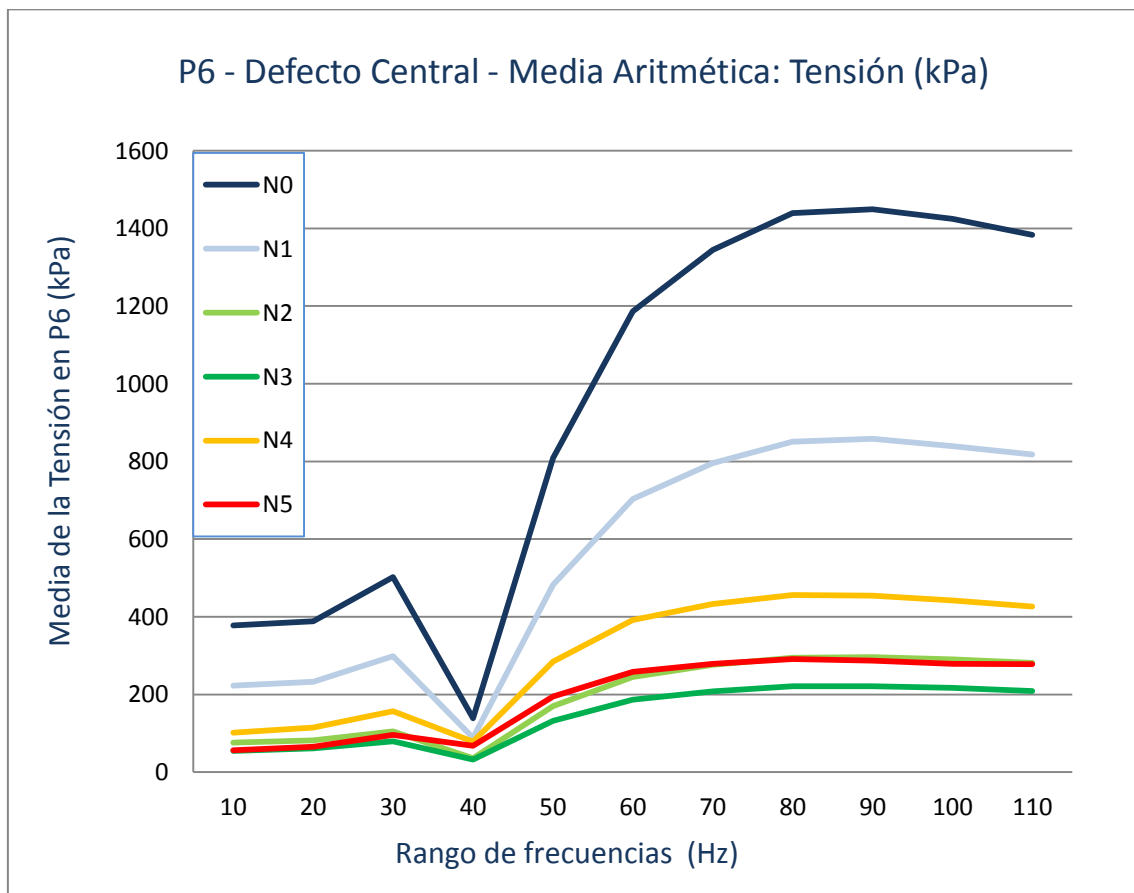


Ilustración 8. 15. P6 - Defecto Central - Media Aritmética: Tensión (kPa)

La Tabla 8.14 y la Ilustración 8.15 nos muestran que al ser P6 un punto frontera superficial del eje, situado en la sección en la que se introduce la grieta, la tensión va a ir disminuyendo a medida que aumenta el nivel de la misma.

Se debe a que no existe continuidad del material, generándose una concentración de tensiones en el resto de la zona en la que si existe continuidad de material. Observamos que esta tendencia lógica se aprecia en el estudio de la media, la mediana, la desviación típica y el máximo (desde Tabla 8.15 hasta Tabla 8.17 y desde Ilustración 8.16 hasta 8.18). Esta tendencia será inversa para las magnitudes desplazamiento y aceleración, ya que al no existir la citada continuidad, el material estará menos restringido.

Para todos los niveles de defecto, el valor de la tensión va aumentando a medida que se incrementa la frecuencia.

P6 - Defecto Central - Mediana: Tensión (kPa):

Tabla 8. 15. P6 - Defecto Central - Mediana: Tensión (kPa)

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	21,58351994	42,6631546	67,29025269	10,53610992	108,78825	171,459404	197,572052	204,1396027	200,6269531	210,5022049	200,9400482
N1	12,05465984	29,2624855	39,33084488	12,15668488	65,68623734	103,214901	114,3362503	126,9916534	128,03825	117,1286011	121,9582481
N2	4,169936419	13,72712994	16,95302582	8,105259418	24,44709015	36,04358482	40,66013527	42,83621407	45,15032578	42,78376007	41,95185089
N3	2,852980018	11,5010848	14,53112984	7,703999519	19,74253464	28,86865997	31,56053543	33,29950523	34,04435349	33,33963966	31,24170589
N4	3,842704058	14,2761097	20,66325951	9,87742424	44,65969849	59,49702835	67,06784821	72,80831909	72,57689667	64,98169708	70,51167297
N5	1,014778972	8,721650124	15,3048296	10,27651024	32,16688156	45,06206131	47,75526047	49,79602051	51,12955856	47,2879715	47,41537857

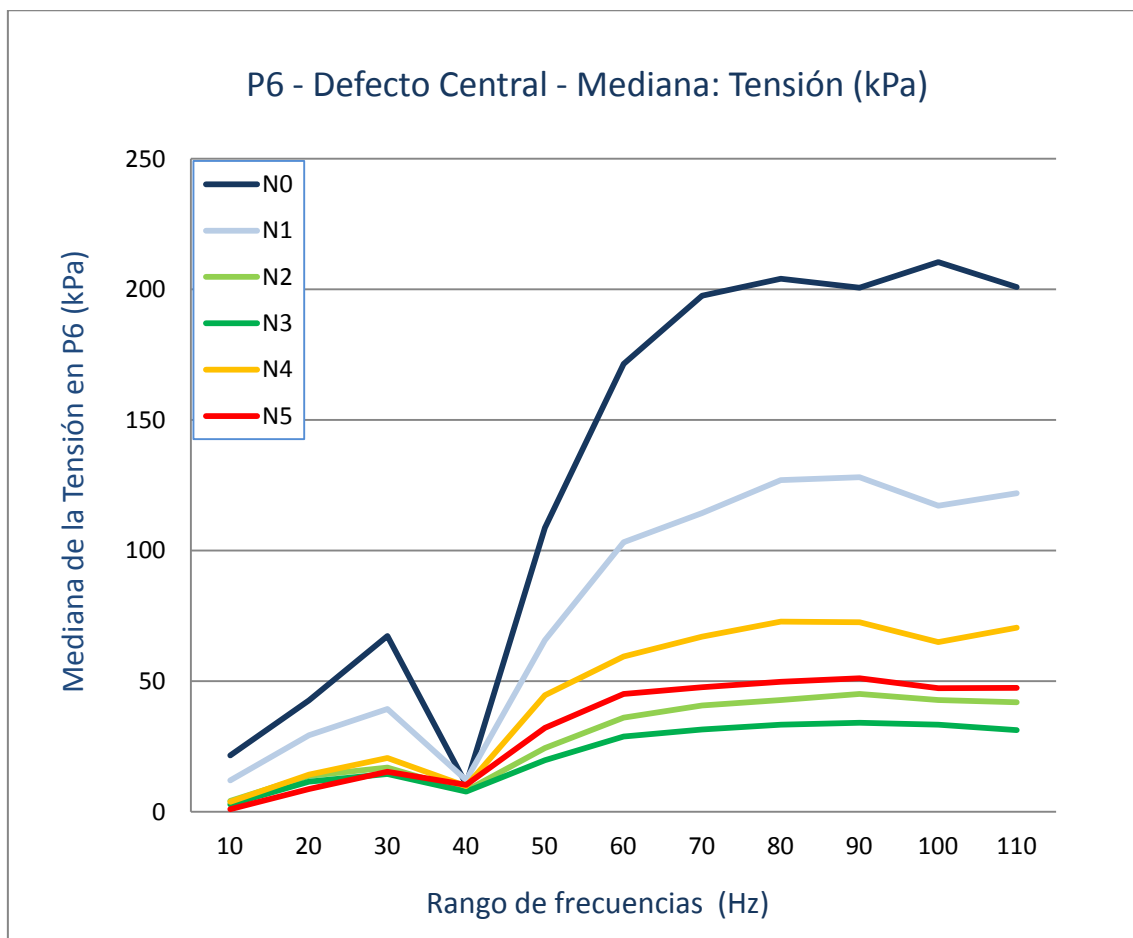


Ilustración 8. 16. P6 - Defecto Central - Mediana: Tensión (kPa)

P6 - Defecto Central - Desviación Típica: Tensión (kPa):

Tabla 8. 16. P6 - Defecto Central - Desviación Típica: Tensión (kPa)

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	1345,669685	1072,180909	1122,37714	827,7963499	1699,488595	2288,481154	2564,602603	2716,483497	2749,867707	2696,274259	2617,062436
N1	797,2660798	633,74635	663,1379019	490,7680323	1007,944308	1354,214033	1515,420105	1603,806935	1621,048028	1590,176977	1541,404714
N2	275,085162	217,8370425	228,2020881	170,3370646	350,6331604	468,826684	522,7805875	552,2732308	557,565221	546,0561594	529,4143145
N3	205,7532299	162,1142706	169,9388481	129,6168345	267,4353101	353,3570221	391,2156964	412,0145967	414,4396636	404,2654186	391,7223862
N4	417,0897664	326,9567351	344,3771854	276,2978781	566,1239543	734,2053994	802,6427835	840,9838338	839,5720998	815,4912854	786,8224735
N5	256,2455654	196,8419319	209,0419001	186,2572601	372,6778786	471,0640603	506,3225779	526,4556057	521,1912447	502,7975898	500,9543812

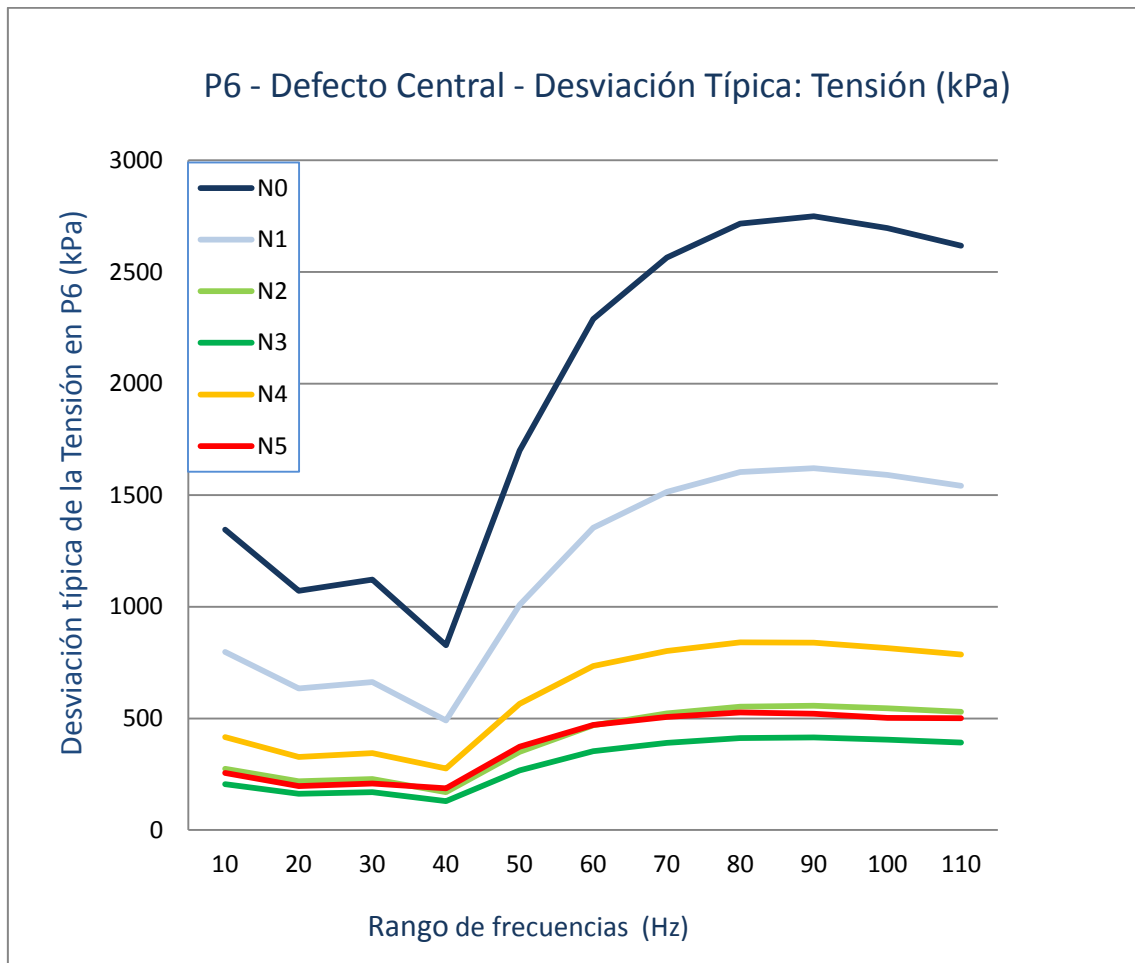


Ilustración 8. 17. P6 - Defecto Central - Desviación Típica: Tensión (kPa)

P6 - Defecto Central - Máximo: Tensión (kPa):

Tabla 8. 17. P6 - Defecto Central - Máximo: Tensión (kPa)

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	9438,94531	10199,21	10964,3604	13213,6602	14623,3496	15615,6396	15895,9102	16129,1797	15797,7305	15615,4102	15181,9102
N1	5591,7251	6027,6958	6507,33984	7819,96777	8654,52148	9224,73926	9375,94922	9509,39844	9309,30957	9192,83496	8932,2627
N2	1928,89001	2071,37988	2257,35303	2698,41699	2986,33594	3173,44312	3217,87695	3261,06396	3189,44897	3145,427	3053,31812
N3	1440,91895	1534,57104	1706,02795	2021,26501	2240,96802	2367,40698	2399,49512	2419,58105	2369,24512	2320,63794	2250,96802
N4	2929,33594	3076,86011	3523,45093	4109,15088	4570,42383	4784,40723	4865,0459	4852,48877	4763,30615	4643,01807	4483,16602
N5	1790,73596	1874,13	2214,36499	2538,28101	2838,354	2946,76709	3011,229	2962,89404	2926,76196	2837,78589	2790,69312

Observamos como para los valores del máximo de la tensión en cada frecuencia, los datos se corresponden con los esperados.

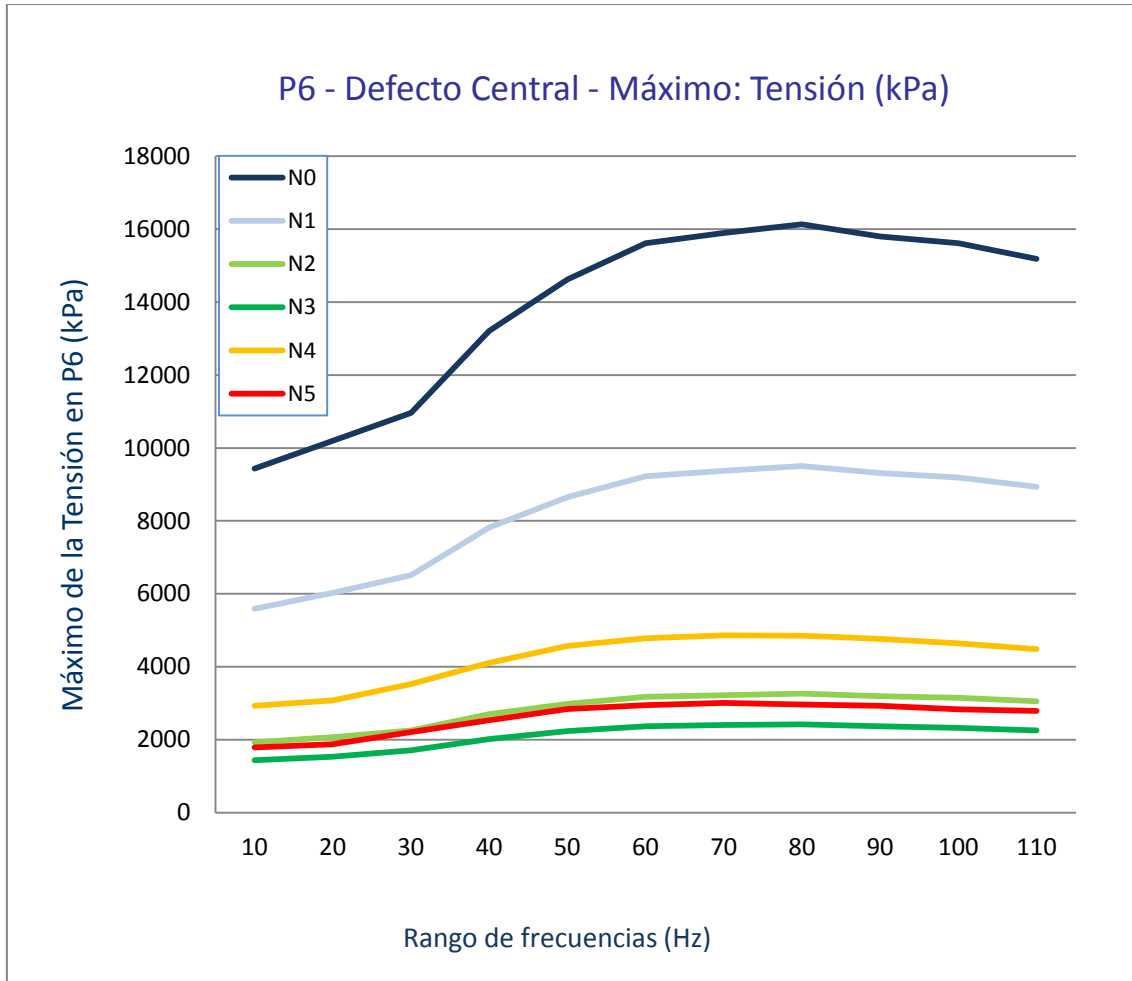


Ilustración 8. 18. P6 - Defecto Central - Máximo: Tensión (kPa)

Ahora vamos a mostrar cómo evolucionan en este punto 6 y para el defecto central, las magnitudes desplazamiento y aceleración a medida que aumenta el nivel de defecto. Partiremos desde un valor mínimo en el eje sin fisurar y se irá incrementando como mencionamos anteriormente, a medida que la profundidad de la grieta va creciendo. Se debe a la disminución de rigidez en el conjunto y más concretamente a la no continuidad del material en las fronteras del punto estudiado.

De igual modo los valores serán cada vez mayores para todos los puntos, siendo la media del orden de 5 veces mayor para el desplazamiento, entre la frecuencia mínima de 10 Hz y la máxima de 110 Hz (desde Tabla 8.18 hasta Tabla 8.21 y desde Ilustración 8.19 hasta Ilustración 8.22)

P6 - Defecto Central - Media Aritmética: Desplazamiento (mm):

Tabla 8. 18. P6 - Defecto Central - Media Aritmética: Desplazamiento (mm)

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00579369	0,00800222	0,00925005	0,00439851	0,0128791	0,01811439	0,02027996	0,02157851	0,02168233	0,02127685	0,02064006
N1	0,00587057	0,00785826	0,00916157	0,00424105	0,01306852	0,01839835	0,02059171	0,02191074	0,02206375	0,02155637	0,02098732
N2	0,00610124	0,00849918	0,00984351	0,00485521	0,01400938	0,01947774	0,02171478	0,02305922	0,02311903	0,02261487	0,02192527
N3	0,00641916	0,00907982	0,01060839	0,00554626	0,01568277	0,02153156	0,02382107	0,02519874	0,02517415	0,02463651	0,02374082
N4	0,00666561	0,00914816	0,01129039	0,00645961	0,01856954	0,02510064	0,02753563	0,02889175	0,02877429	0,02801761	0,02699567
N5	0,00700702	0,00972463	0,01278607	0,00933637	0,02383603	0,03119678	0,03356411	0,03498164	0,03448244	0,03342383	0,03335973

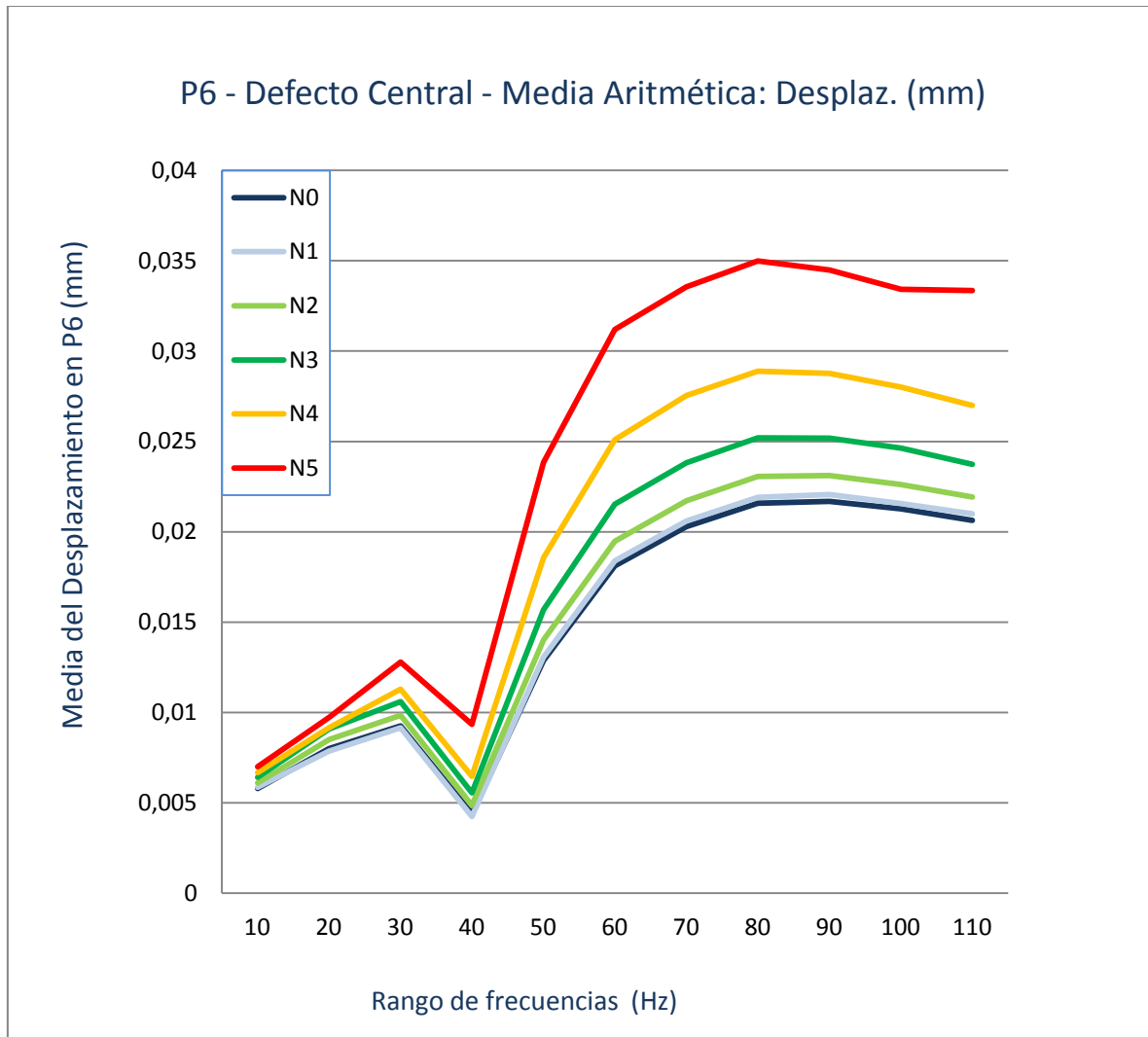


Ilustración 8. 19. P6 - Defecto Central - Media Aritmética: Desplazamiento (mm)

P6 - Defecto Central - Máximo: Aceleración (mm/s^2):

Para la aceleración, el valor máximo será unas 15 veces mayor en la f 110 Hz con respecto a la f 10 Hz cuando el eje se encuentre en perfectas condiciones (N0). Y variará incrementándose hasta 20 veces f110 Hz con respecto a f10 Hz en la peor condición de estudio del eje, es decir, cuando este se encuentre fisurado en el nivel N5.

Para los niveles de fisuración intermedios, desde N1 hasta N4, el valor de la aceleración se encontrará entre los niveles extremos N0 y N5, aumentando a medida que aumenta la frecuencia y la profundidad de grieta.

Tabla 8. 19. P6 - Defecto Central - Máximo: Aceleración (mm/s^2)

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	10,5684902	24,2183809	37,3309609	36,1571211	67,0956016	103,650797	114,7565	119,000898	140,523297	139,817594	146,86
N1	10,44729	24,3189395	37,3913984	36,5137695	68,6066406	104,046898	116,379797	120,291	141,462594	141,3525	146,0325
N2	10,4673096	24,1240801	38,2763398	37,943	71,8548125	106,456297	121,025602	125,860602	144,707703	146,6205	144,978297
N3	9,67349316	24,7555508	40,8262109	40,5355898	80,7029922	114,547102	128,790797	136,118906	147,518594	153,844094	144,465
N4	8,43269922	26,3057793	42,9205586	44,5086406	90,7762969	126,2215	137,738203	150,421094	156,235	161,197297	160,321094
N5	9,58257031	23,4022109	45,3253086	50,6181992	109,602398	146,404797	151,2525	162,051703	172,682703	176,160594	176,922594

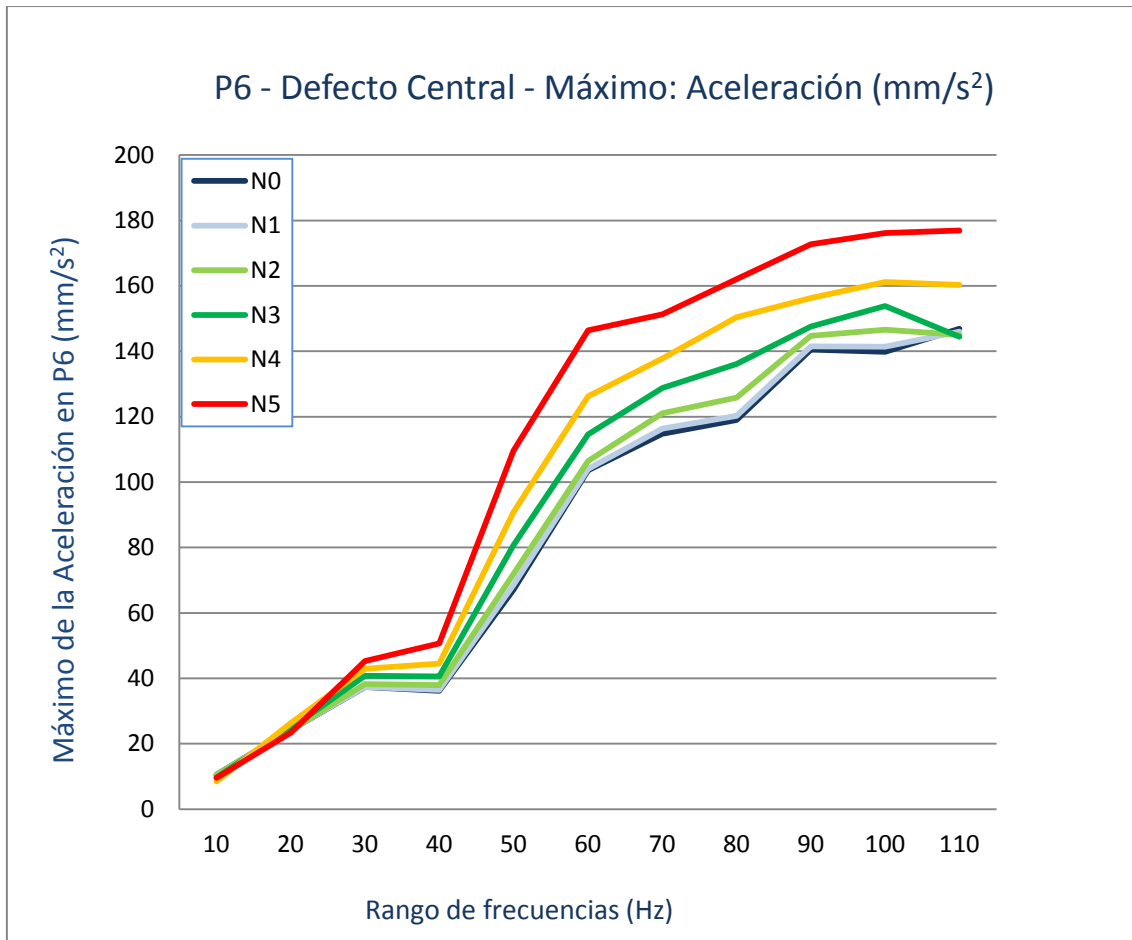


Ilustración 8. 20. P6 - Defecto Central - Máximo: Aceleración (mm/s^2)

En el punto 5, se va a repetir esta misma situación cuando trabajemos con la grieta lateral, ya que se encuentra en la superficie de la zona fisurada. Por tanto los datos y gráficas van a ser de forma similar a los que estamos observando para P6, grieta central.

Cuando para los puntos 5 y 6 la fisura no se encuentre en el lugar de la toma de datos, es decir, grieta lateral para P6 y grieta central para P5; las tendencias de nuestras gráficas van a responder de forma similar a la del resto de puntos que hemos evaluado: P1, P2, P3 y P4. La lógica que nos dicta la resistencia de materiales en esta situación es que a medida que vaya incrementándose el nivel de fisuración, la tensión soportada por punto material aumente y lo hagan también el desplazamiento y la aceleración.

Mostramos a continuación datos puntuales de interés para estos puntos citados.

P3 - Defecto Lateral - Máximo: Desplazamiento (mm):

Tabla 8. 20. P3 - Defecto Lateral - Máximo: Desplazamiento (mm)

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,2813915	0,29755619	0,32932571	0,38276839	0,41898459	0,43585661	0,43735811	0,43426141	0,4246428	0,41285029	0,3987743
N1	0,2775116	0,29437691	0,3251535	0,37972161	0,41562241	0,43337521	0,43558261	0,43274841	0,4234238	0,41199431	0,39803261
N2	0,28266841	0,29877901	0,33161139	0,3862552	0,42367601	0,44139951	0,44279891	0,44107431	0,42999199	0,41949251	0,4046959
N3	0,29373401	0,31018701	0,3445152	0,40010789	0,43828899	0,45598081	0,4574661	0,454705	0,44424379	0,43240359	0,41754419
N4	0,30818069	0,32408521	0,3626495	0,41934049	0,46026301	0,47801501	0,4784925	0,47659171	0,4641352	0,4526563	0,43660021
N5	0,3308776	0,34592101	0,39191169	0,45039219	0,49491471	0,51258218	0,51167881	0,51010031	0,49534509	0,48344579	0,46574631

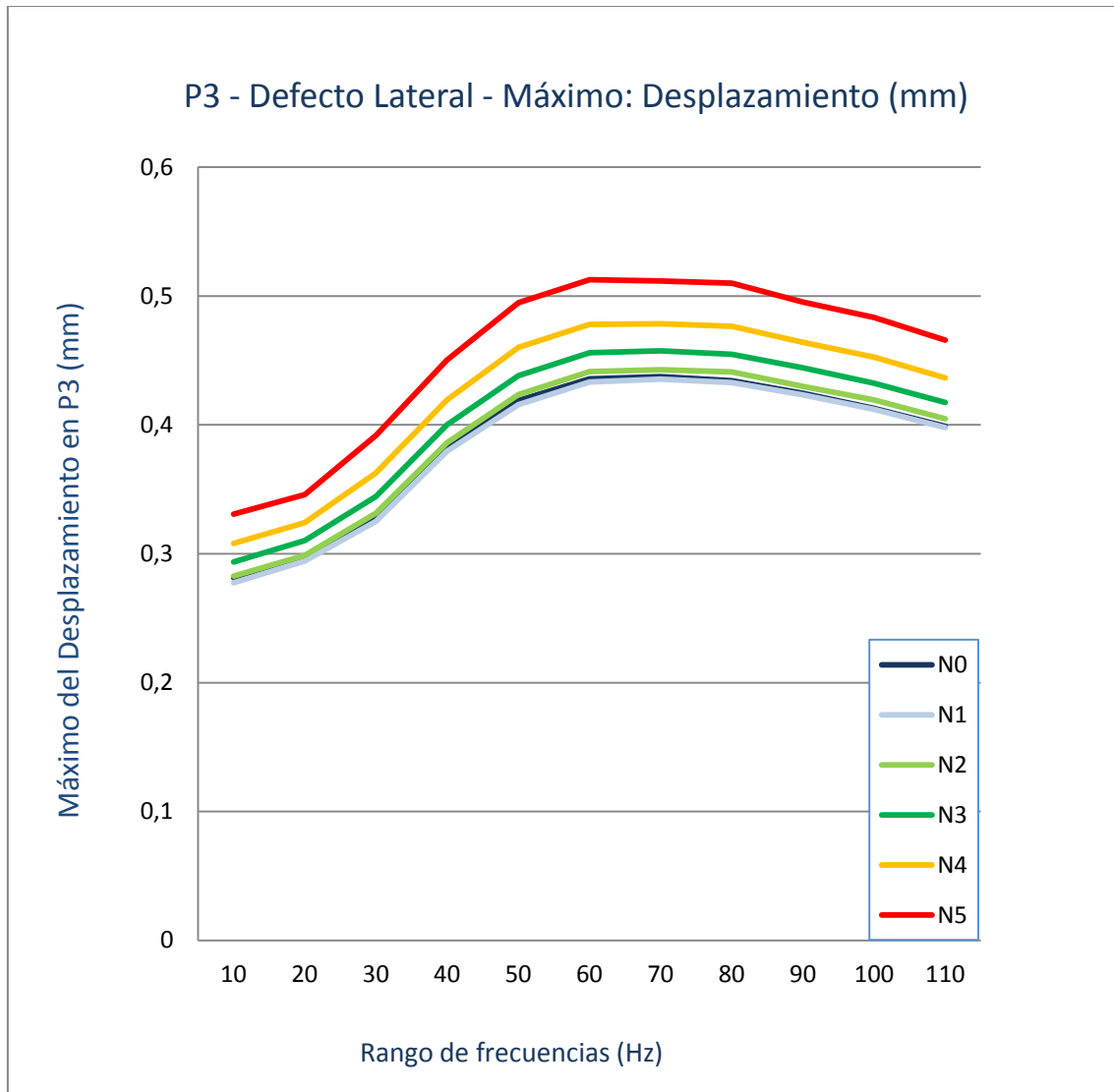


Ilustración 8. 21. P3 - Defecto Lateral - Máximo: Desplazamiento (mm)

P2 - Defecto Central - Mediana: Tensión (kPa):

Tabla 8. 21. P2 - Defecto Central - Mediana: Tensión (kPa)

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	4,376983881	9,126957417	13,46794987	2,763173938	22,32139492	35,08626556	39,5607605	42,4216404	43,65764427	42,64242935	41,61357117
N1	4,573890924	9,60857439	14,75766993	2,940392494	23,82368469	38,20153999	42,81694031	45,55630493	46,08587646	44,56867409	43,36230087
N2	4,177961588	9,364605427	14,27576017	3,479658008	23,75242996	36,07015991	42,33551979	43,11219978	43,79878998	43,4586544	42,07553864
N3	3,826898098	9,880114079	14,86300993	4,484912395	27,27554035	38,6760006	44,33201981	46,42715073	48,13059998	46,43047523	45,25778961
N4	2,791501045	9,248827934	15,05070019	7,137282848	31,58501053	41,69313812	47,13454819	51,72621155	52,11074066	47,41170883	49,01522064
N5	1,257141948	9,4392519	17,72248077	11,67243004	37,21746826	52,91249084	55,46380997	58,54999161	58,86550903	57,46057892	56,42253113

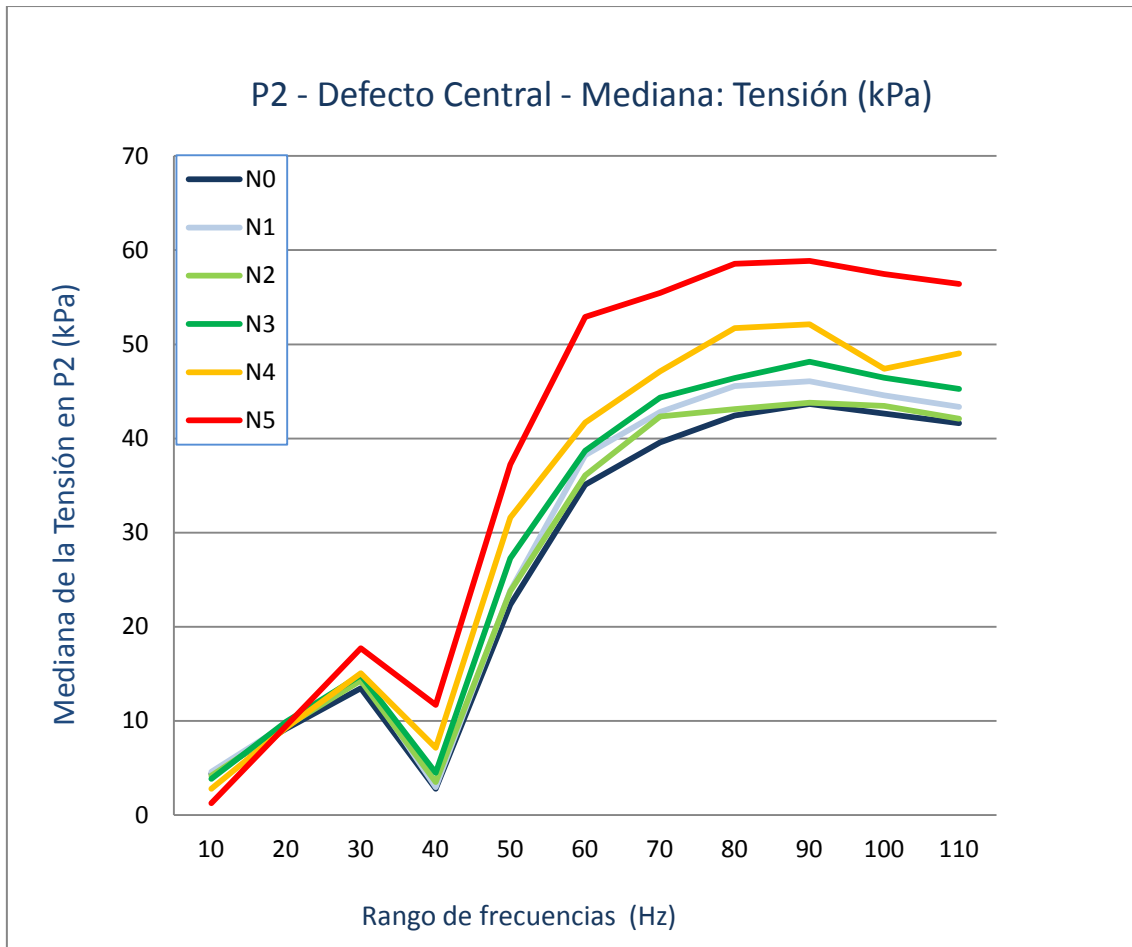


Ilustración 8. 22. P2 - Defecto Central - Mediana: Tensión (kPa)

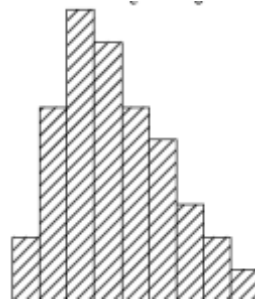
Ahora vamos a mostrar 2 variables estadísticas que nos muestran por un lado la simetría de la distribución de los datos, con el sesgo; y por otro la forma en la que se encuentran agrupados los datos en torno al valor central, mediante el coeficiente de kurtosis.

P4 - Defecto Lateral - Sesgo: Desplazamiento (mm):

Tabla 8. 22. P4 - Defecto Lateral - Sesgo: Desplazamiento (mm)

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,02946339	6,01185336	4,98534828	12,5755517	4,12679292	2,99187886	2,79788401	2,68574054	2,68552214	2,68696939	2,69747755
N1	5,04036191	6,15466142	5,24304712	12,6097384	4,35516305	3,1091375	2,87777064	2,75086916	2,75448379	2,75880278	2,77210124
N2	5,01703291	5,87617021	4,75855763	12,5474717	3,92751209	2,89684449	2,7314383	2,63013477	2,63182216	2,63147457	2,63795354
N3	5,03225843	6,00389806	4,95629558	12,5032981	4,06232505	2,96871838	2,7817839	2,67212017	2,67353129	2,67468283	2,68480564
N4	5,02669852	5,86773799	4,72210641	12,3302382	3,82382746	2,87185044	2,72172655	2,62636416	2,6282271	2,62849145	2,63463545
N5	5,04234726	5,81251972	4,58141004	11,919929	3,60733894	2,80037756	2,68252926	2,59769867	2,59995364	2,59992253	2,60469395

Como el valor es siempre positivo, concluimos que todas nuestras gráficas de ensayos dynamic time tienen asimetría positiva, es decir, que se corresponden con la forma de la siguiente ilustración (Tabla 8.22 e Ilustración 8.23).



Esto es totalmente lógico, si tenemos en cuenta que para realizar estos análisis hemos introducido una función impulsiva de tipo senoidal, que existe de 0 a π e incorporando un coeficiente de amortiguamiento al sistema. Obteniendo como resultado gráficas que toman valores grandes al principio, hasta alcanzar un máximo, para luego decrecer y atenuarse de forma exponencial hasta llegar a 0.

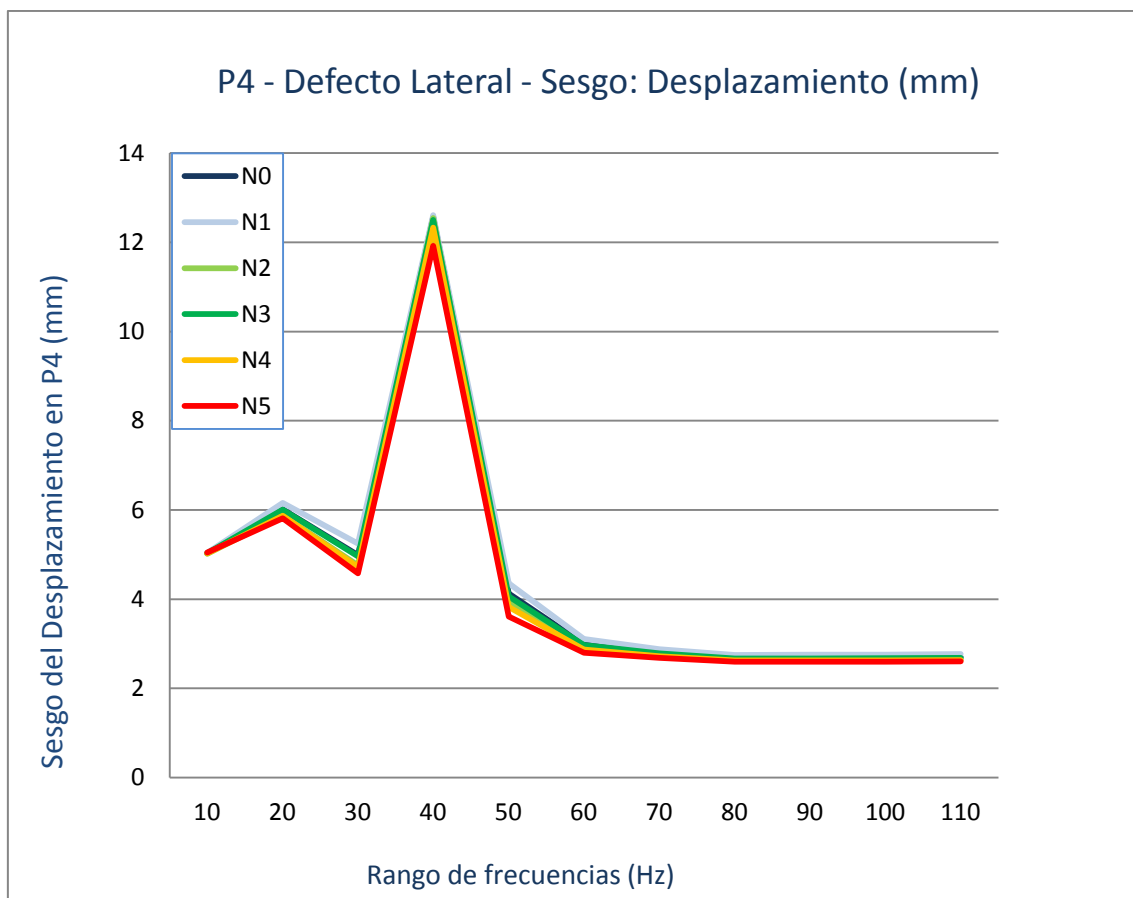


Ilustración 8. 23. P4 - Defecto Lateral - Sesgo: Desplazamiento (mm)

P1 - Defecto Central – Coef. Kurtosis: Tensión (kPa):

Tabla 8. 23. P1 - Defecto Central – Coef. Kurtosis: Tensión (kPa)

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	27,6385898	30,2676831	18,5852223	184,565912	15,0847798	10,3232717	10,0965206	9,81530872	10,1378605	10,354291	10,4391232
N1	27,1080218	29,3531523	18,0752973	179,423347	14,3282142	9,94727657	9,72719433	9,4140936	9,65793237	9,80687539	9,84873663
N2	27,1485163	27,2151722	16,7143207	168,641038	13,191663	10,2537737	10,3208876	10,0493562	10,2878852	10,4704753	10,536266
N3	28,4899669	48,1358302	44,6266288	173,91943	33,479591	18,8457582	16,5672622	15,3939173	16,27342	16,4525898	16,3929022
N4	28,6048099	40,5132937	27,5388996	132,07641	15,543993	10,571542	10,0183574	9,64330385	9,9801315	10,0115592	10,0063321
N5	28,8678567	49,5824142	36,9830664	96,9951465	15,5396377	10,8499127	10,1794392	9,79464654	10,2190387	10,1821908	9,95671611

El coeficiente de kurtosis nos indica que de forma generalizada, todas las gráficas obtenidas en los ensayos dynamic time, son distribuciones leptocúrticas. Lo que significa que existe un gran agrupamiento o pico en el histograma en torno a su valor máximo (Tabla 8.23 e Ilustración 8.24). Es una apreciación que se corresponde totalmente con la realidad, al introducir una función impulsiva durante solo 1 s de tiempo y de forma senoidal.

Mostramos un ejemplo de distribución leptocúrtica a continuación.

Distribución leptocúrtica: $g_2 > 3$

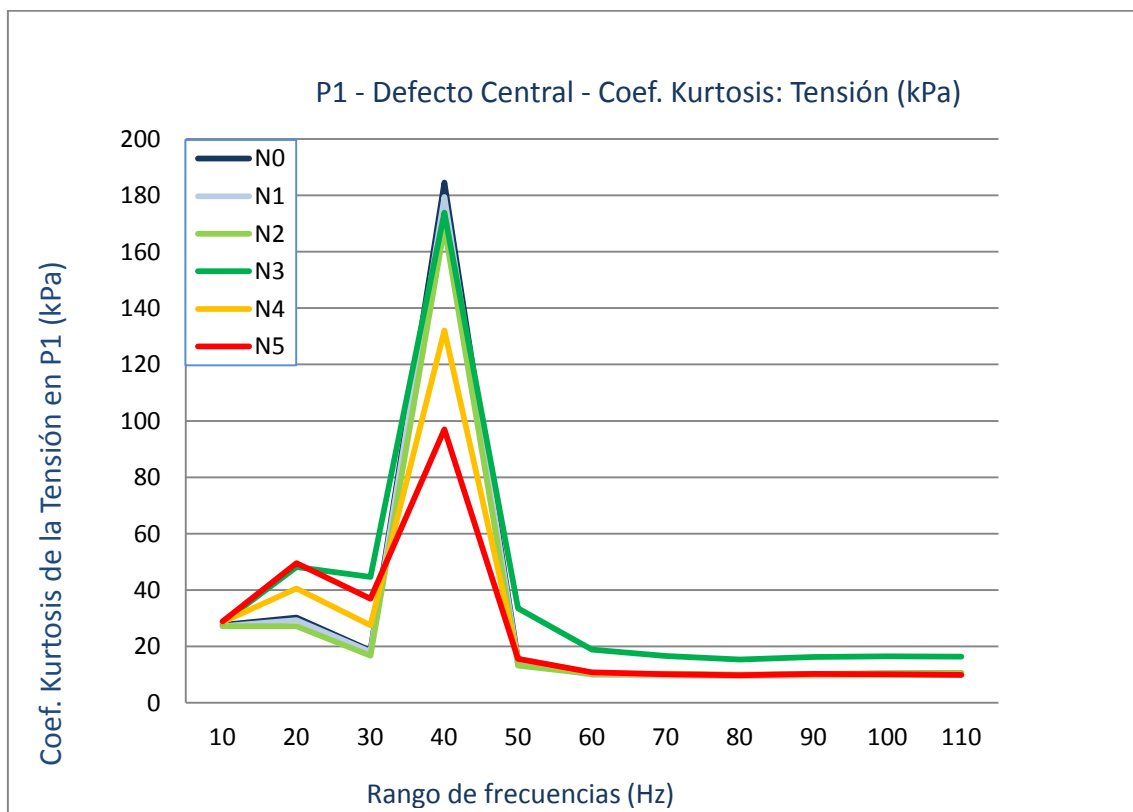
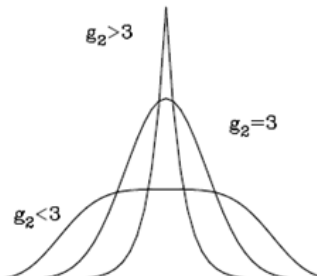


Ilustración 8. 24. P1 - Defecto Central – Coef. Kurtosis: Tensión (kPa)

Con esto cerramos el estudio de las principales características de los ensayos dynamic time, tras ser pasados por el tamiz de la estadística, para pasar a evaluar cuáles de estas medidas estadísticas nos aportan una mayor representatividad y fidelidad para nuestro caso de estudio.

8.4. RESULTADOS DE LAS MEDIDAS ESTADÍSTICAS

Para conocer que medidas nos muestran resultados representativos y de que forma lo hacen; vamos a ver cómo evolucionan de forma cuantitativa y cualitativa la media de estos parámetros, para cada uno de los niveles de defecto y magnitudes evaluadas.

Punto 6 - Defecto Lateral - Tensión (kPa):

Vemos que la media de la tensión va decreciendo de forma general a medida que incrementa el defecto, pasando a ser un 11,95% inferior en el nivel 5 de defecto con respecto al eje sin fisurar (Tabla 8.24 e Ilustración 8.25).

Tabla 8. 24. Punto 6 - DL - Media – ΔT

P6 - Defecto lateral - Media - T (kPa)		
Nivel de Defecto	T	ΔT (%)
N0	949,39	
N1	950,57	0,124%
N2	950,61	0,128%
N3	938,42	-1,156%
N4	906,59	-4,508%
N5	835,98	-11,946%

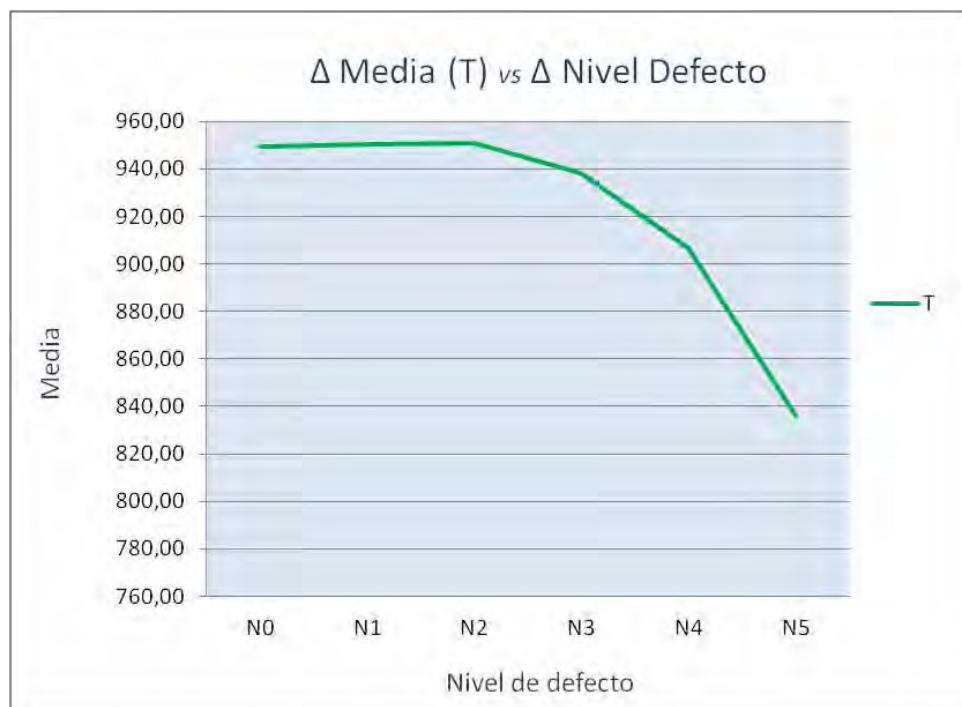


Ilustración 8. 25. Punto 6 - DL - Media - ΔT

Lo mismo sucede con la mediana, en el que el valor medio de la tensión es de 130,55 kPa para N0 de defecto frente a 118,8 kPa para el N5, un 9,01% inferior (Tabla 8.25 e Ilustración 8.26).

Tabla 8. 25. Punto 6 - DL - Mediana – ΔT

P6 - Defecto lateral - Mediana - T (kPa)		
Nivel de Defecto	T	ΔT (%)
N0	130,55	
N1	128,77	-1,371%
N2	130,21	-0,266%
N3	129,44	-0,852%
N4	126,84	-2,843%
N5	118,80	-9,007%

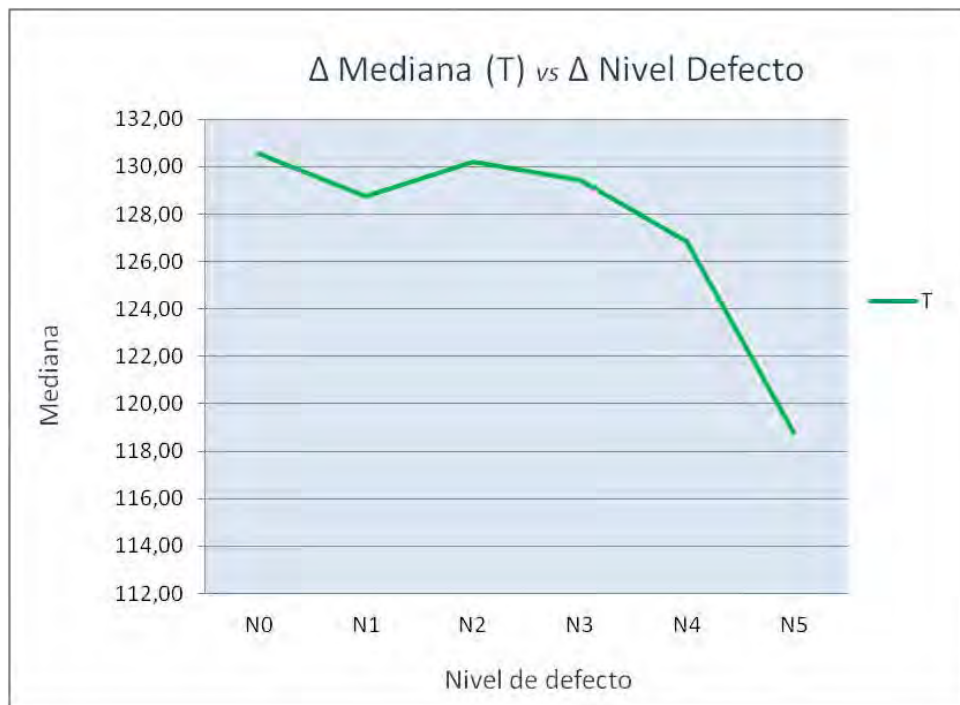


Ilustración 8. 26. Punto 6 - DL - Mediana - ΔT

Sucedirá lo mismo para la varianza, reduciéndose un 22,06% el valor de la misma si comparamos el estado tensional para N0 con el de N5 (Tabla 8.26 e Ilustración 8.27).

Tabla 8. 26. Punto 6 - DL - Varianza – ΔT

P6 - Defecto lateral - Varianza - T (kPa)		
Nivel de Defecto	T	ΔT (%)
N0	4424333,73	
N1	4439196,17	0,336%
N2	4454896,51	0,691%
N3	4305400,55	-2,688%
N4	4025464,11	-9,015%
N5	3448355,34	-22,059%

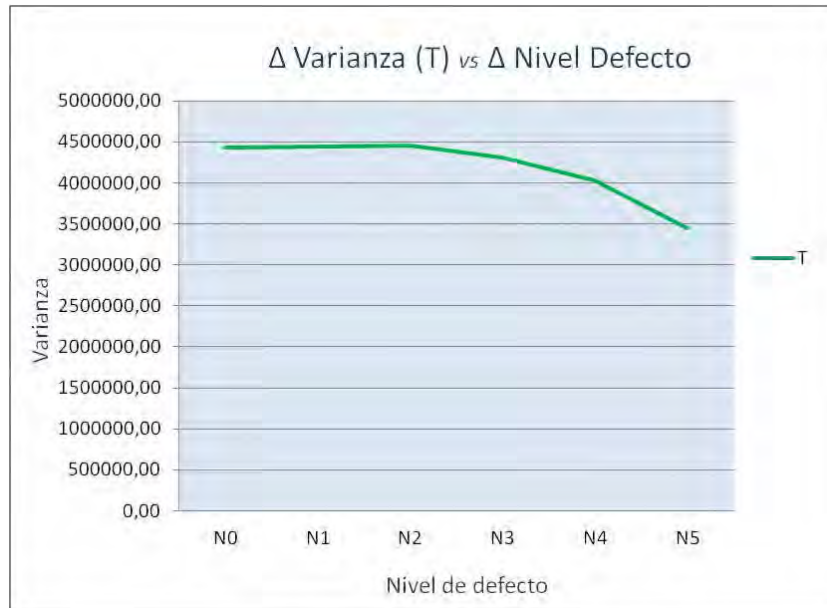


Ilustración 8. 27. Punto 6 - DL - Varianza - ΔT

La reducción de la desviación típica desde N0 hasta N5 será de un 11,37% (Tabla 8.27 e Ilustración 8.28).

Tabla 8. 27. Punto 6 - DL - D. típica – ΔT

P6 - Defecto lateral - D. Típica - T (kPa)		
Nivel de Defecto	T	ΔT (%)
N0	1972,75	
N1	1978,38	0,286%
N2	1987,36	0,741%
N3	1946,39	-1,336%
N4	1885,33	-4,431%
N5	1748,48	-11,368%

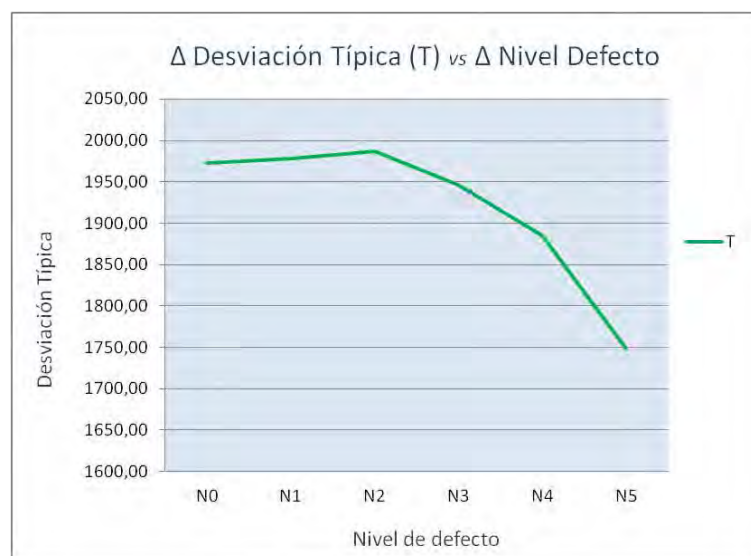


Ilustración 8. 28. Punto 6 - DL - D. típica - ΔT

Observamos como para el mínimo no existe una tendencia clara (Tabla 8.28 e Ilustración 8.29).

Tabla 8. 28. . Punto 6 - DL - Mínimo – ΔT

P6 - Defecto lateral - Mínimo - T (kPa)		
Nivel de Defecto	T	ΔT (%)
N0	0,15813	
N1	0,11380	-28,033%
N2	0,16853	6,579%
N3	0,15153	-4,176%
N4	0,17908	13,249%
N5	0,29279	85,158%



Ilustración 8. 29. Tabla 8. 26. . Punto 6 - DL - Mínimo - ΔT

El máximo decrece un 7,239% en N5 con respecto a N0 (Tabla 8.29 e Ilustración 8.30).

Tabla 8. 29. Tabla 8. 26. Punto 6 - DL - Máximo – ΔT

P6 - Defecto lateral - Máximo - T (kPa)		
Nivel de Defecto	T	ΔT (%)
N0	13879,57	
N1	13957,91	0,564%
N2	14143,75	1,903%
N3	13713,40	-1,197%
N4	13465,44	-2,984%
N5	12874,85	-7,239%

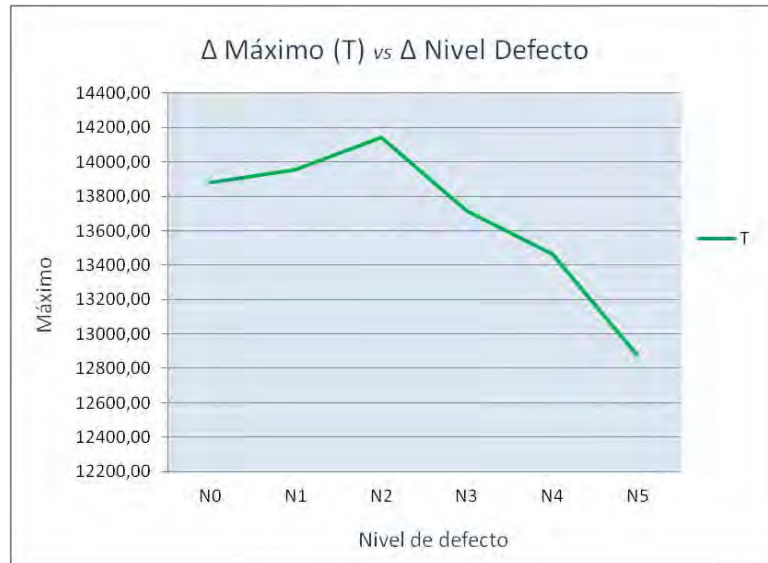


Ilustración 8. 30. Punto 6 - DL - Máximo - ΔT

Para la Kurtosis y el sesgo no existe una tendencia clara (Tablas 8.30 y 8.31 e Ilustraciones 8.31 y 8.32).

Tabla 8. 30. Punto 6 - DL - C. Kurtosis - ΔT

P6 - Defecto lateral - C. Kurtosis - T (kPa)		
Nivel de Defecto	T	ΔT (%)
N0	33,45	
N1	33,51	0,197%
N2	33,75	0,911%
N3	33,29	-0,473%
N4	33,48	0,110%
N5	33,99	1,622%

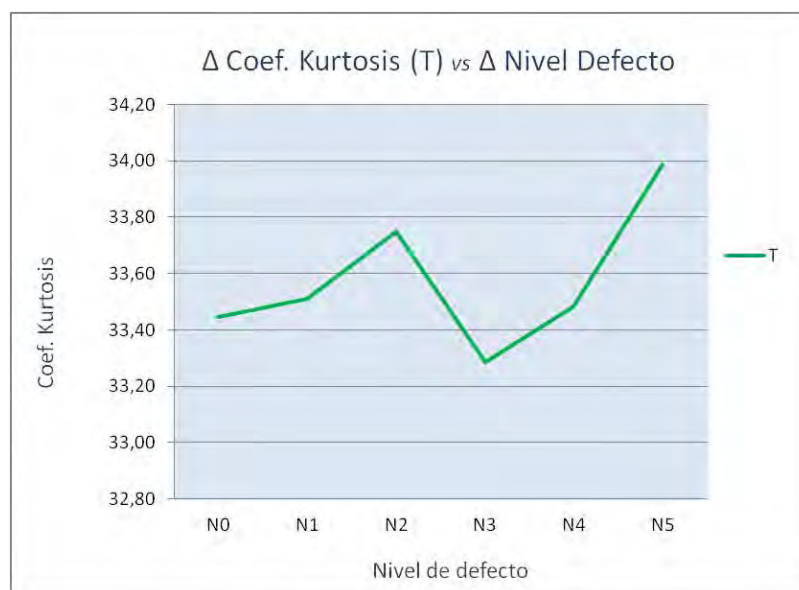


Ilustración 8. 31. Punto 6 - DL - C. Kurtosis - ΔT

Tabla 8. 31. Punto 6 - DL - Sesgo – ΔT

P6 - Defecto lateral - Sesgo- T (kPa)		
Nivel de Defecto	T	ΔT (%)
N0	4,42	
N1	4,43	0,227%
N2	4,46	0,903%
N3	4,42	-0,192%
N4	4,44	0,400%
N5	4,50	1,794%

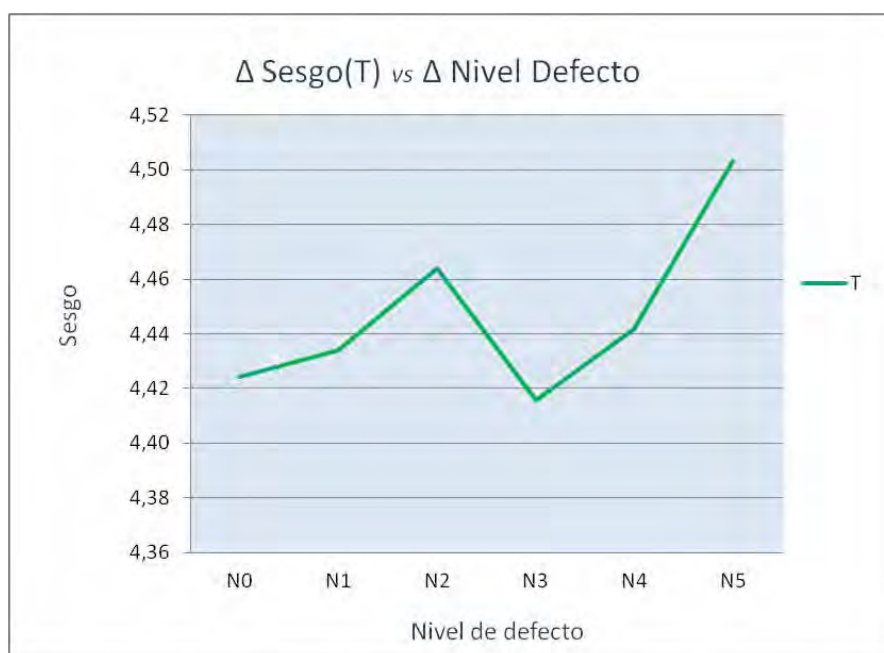


Ilustración 8. 32. Punto 6 - DL - Sesgo - ΔT

Podemos concluir que las medidas más representativas para la tensión son, en primer lugar la varianza, ya que disminuye en un 22,06% su valor final con respecto a su valor inicial, seguido de la media con un 11,95%, la desviación típica con un 11,37% de disminución, la mediana con un 9,07% y finalmente el máximo con un 1,622%.

Concluimos que además de reducir su valor, todas estas medidas, lo hacen respondiendo a una tendencia similar apreciable en todas las gráficas. Lo cual nos quiere decir existe una coherencia en los datos que hemos obtenido y que son medidas que nos van a ayudar a obtener unos resultados valiosos en nuestros estudios.

Por otra parte hemos observado que el cálculo del mínimo, no se corresponde con ninguna tendencia apreciable, cosa que ya observábamos en los datos obtenidos en los ensayos dynamic time, por lo que no nos aporta mayor conocimiento más allá de saber cuáles son los valores mínimos para cada caso de estudio.

Observaremos como se producen situaciones similares al trabajar con las magnitudes desplazamiento y aceleración, lo cual aporta mayor consistencia a lo anteriormente enunciado.

Las tablas y gráficas asociadas se pueden encontrar en el Anexo C.

Las medidas más representativas para el desplazamiento son, en primer lugar la varianza, ya que disminuye en un 17,73 % su valor final con respecto a su valor inicial, seguido de la desviación típica con un 8,89 %, la media con un 7,89 % de disminución y finalmente el máximo con un 5,09 %.

Las medidas más representativas para la aceleración son, en primer lugar la varianza, ya que disminuye en un 21,25 % su valor final con respecto a su valor inicial, seguido de la media con un 11,65 %, la desviación típica con un 11,23 % de disminución, la mediana con un 8,66 % y finalmente el máximo con un 3,29 %.

Por lo tanto, tras evaluar la evolución media de todas las medidas estadísticas con las que trabajamos frente al incremento de nivel de defecto; podemos concluir que cuantitativa y cualitativamente, la varianza es la medida más representativa de nuestro estudio y la que más valor y fiabilidad nos aporta, para extraer conclusiones de los ensayos impulsivos 'dynamic time'.





CAPÍTULO 9

Conclusiones y trabajos futuros



9.1. CONCLUSIONES

9.1.1. CONCLUSIONES PRINCIPALES

He cumplido el objetivo principal establecido al inicio del proyecto. He realizado los ensayos modales sobre el wheelset, trabajando con los 10 primeros modos de vibración para el conjunto restringido, llevándolos a cabo tanto en el eje sin fisuras como en el eje con defectos. Se han introducido pequeñas grietas en 2 secciones críticas del eje como son la sección transversal media y la sección transversal en el ajuste interior, con 5 diferentes niveles de profundidad de grieta, alcanzando hasta el 50% de la sección del eje para el nivel máximo.

Además, se han ensayado los dynamic time sobre los análisis anteriores, obteniendo los resultados de los mismos y tomando datos en 6 puntos característicos de eje y rueda. Las magnitudes evaluadas en estos puntos han sido el desplazamiento, la aceleración y la tensión. Estos resultados se procesaron para ver mediante los parámetros estadísticos: media, mediana, varianza, desviación típica, mínimo, máximo, coeficiente de kurtosis y sesgo; cuales han sido las señales obtenidas tanto de vibraciones como de las magnitudes mencionadas.

Las principales aportaciones de este estudio son, por tanto, el establecimiento de una metodología específica, seguida a lo largo de todas las fases y que no existía anteriormente; y por otra parte los resultados numéricos obtenidos al realizar los ensayos impulsivos dynamic time, con su tratamiento mediante parámetros estadísticos.

9.1.2. CONCLUSIONES TÉCNICAS

Tras realizar los ensayos modales observamos que los valores de las frecuencias obtenidas, se corresponden con los modos naturales de vibración para este tipo de casos. Cabe destacar además, que a medida que vamos introduciendo mayor nivel de defecto, el valor de la frecuencia natural para cada modo va disminuyendo de forma proporcional, ya que al disminuir la masa del conjunto, como consecuencia, la rigidez también va a reducirse.

Estudios con ensayos impulsivos dynamic time y medidas estadísticas:

Para P6, al ser un punto frontera superficial del eje; y para el caso en el que introducimos defecto central, la tensión va a ir disminuyendo a medida que aumenta el nivel de profundidad de la grieta. Esto se debe a que no existe continuidad del material en superficies de esta sección, generándose una concentración de tensiones en el resto de la zona en la que si existe continuidad de material. Observamos que esta tendencia lógica se aprecia en el estudio de la media, la mediana, la desviación típica y el máximo.

Esta tendencia en P6 grieta central, será inversa para las magnitudes desplazamiento y aceleración, ya que al no existir la citada continuidad, el material estará menos restringido. Para todos los niveles de defecto, el valor de la tensión va aumentando a medida que se incrementa la frecuencia.

Observamos como evolucionan en P6 y para el defecto central, las magnitudes desplazamiento y aceleración a medida que aumenta el nivel de defecto. Partimos desde un valor mínimo en el eje sin fisurar y que se va incrementando, como mencionamos anteriormente, a medida que la profundidad de la grieta va creciendo. Se debe a la disminución de rigidez en el conjunto y más concretamente a la no continuidad del material en las fronteras del punto estudiado.

De igual modo los valores serán cada vez mayores para todos los niveles de defecto, siendo la media aritmética del orden de 5 veces mayor para el desplazamiento, entre la frecuencia mínima de 10 Hz y la máxima de 110 Hz.

Para la aceleración, el valor máximo será unas 15 veces mayor en la f 110 Hz con respecto a la f 10 Hz cuando el eje se encuentre en perfectas condiciones (N0). Y variará incrementándose hasta 20 veces f 110 Hz con respecto al valor máximo en f 10 Hz, en la peor condición de estudio del eje, es decir, cuando este se encuentre fisurado en el nivel N5.

Para los niveles de fisuración intermedios, desde N1 hasta N4, el valor de la aceleración se encontrará entre los niveles extremos N0 y N5, aumentando a medida que aumenta la frecuencia y la profundidad de grieta.

En el punto 5, se va a repetir esta misma situación cuando trabajemos con la grieta lateral, ya que se encuentra en la superficie de la zona fisurada. Por tanto los datos y las gráficas van a tener distribuciones similares a los que estamos observando para P6, grieta central.

Cuando para los puntos 5 y 6 la fisura no se encuentre en el lugar de la toma de datos, es decir, grieta lateral para P6 y grieta central para P5, las tendencias de nuestras gráficas van a responder de forma similar a la del resto de puntos que hemos evaluado: P1, P2, P3 y P4. La lógica que nos dicta la resistencia de materiales en esta situación es que a medida que vaya incrementándose el nivel de fisuración, la tensión soportada por punto material aumente y lo hagan también el desplazamiento y la aceleración.

A la hora de estudiar la asimetría, como el valor obtenido siempre mayor que 0, para todos los puntos y niveles de defecto; concluimos que todas nuestras gráficas de ensayos dynamic time tienen asimetría positiva.

Esto es totalmente lógico, si tenemos en cuenta que para realizar estos análisis hemos introducido una función impulsiva de tipo senoidal, que existe de 0 a π e incorporando un coeficiente de amortiguamiento al sistema. Obteniendo como resultado gráficas que toman valores grandes al principio, hasta alcanzar un máximo, para luego decrecer y atenuarse de forma exponencial hasta llegar a 0.

El coeficiente de kurtosis nos indica que de forma generalizada, todas las gráficas obtenidas en los ensayos dynamic time, son distribuciones leptocúrticas. Lo que significa que existe un gran agrupamiento o pico en el histograma en torno a su valor máximo. Es una apreciación que se corresponde totalmente con la realidad, al introducir una función impulsiva durante solo 1 s de tiempo y de forma senoidal.

Medidas estadística:

Observamos que la evolución media de las medidas estadísticas frente al incremento del nivel de defecto y las magnitudes evaluadas era el siguiente:

Tensión en P6, defecto lateral: Podemos concluir que las medidas más representativas para la tensión son, en primer lugar la varianza, ya que disminuye en un 22,06 % su valor final con respecto a su valor inicial, seguido de la media con un 11,95 %, la desviación típica con un 11,37 % de disminución, la mediana con un 9,07 % y finalmente el máximo con un 1,62 %.

Concluimos que además de reducir su valor, todas estas medidas, lo hacen respondiendo a una tendencia similar apreciable en todas las gráficas. Lo cual nos quiere decir existe una coherencia en los datos que hemos obtenido.

Por otra parte hemos observado que el cálculo del mínimo, no se corresponde con ninguna tendencia apreciable, cosa que ya observábamos en los datos obtenidos en los ensayos dynamic time, por lo que no nos aporta mayor conocimiento más allá de saber cuáles son los valores mínimos para cada caso de estudio.

Observaremos como se producen situaciones similares al trabajar con las magnitudes desplazamiento y aceleración, lo cual aporta mayor consistencia a lo anteriormente enunciado.

Desplazamiento en P6, defecto lateral: Podemos concluir que las medidas más representativas para el desplazamiento son, en primer lugar la varianza, ya que disminuye en un 17,73 % su valor final con respecto a su valor inicial, seguido de la desviación típica con un 8,89 %, la media con un 7,89 % de disminución y finalmente el máximo con un 5,09 %.

Aceleración en P6, defecto lateral: Podemos concluir que las medidas más representativas son, en primer lugar la varianza, ya que disminuye en un 21,25 % su valor final con respecto a su valor inicial, seguido de la media con un 11,65 %, la desviación típica con un 11,23 % de disminución, la mediana con un 8,66 % y finalmente el máximo con un 3,29 %.

Por lo tanto, tras evaluar la evolución media de todas las medidas estadísticas con las que trabajamos frente al incremento de nivel de defecto; se observa que la varianza es la medida más representativa de nuestro estudio, y la que más valor y fiabilidad nos aporta para extraer conclusiones de los ensayos impulsivos 'dynamic time'.

9.2. TRABAJOS FUTUROS

A lo largo de este proyecto hemos ido enunciando en diversas fases del mismo, que nos encontramos siguiendo la línea de investigación del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Carlos III de Madrid. Buena parte de estos trabajos y proyectos de investigación se desarrollan en el entorno Creo Elements/PRO, mediante el cual diseñamos y analizamos diversos elementos mecánicos, evaluando de este modo la capacidad del software para realizar análisis estáticos y de fatiga. En múltiples casos los elementos objeto de estudio han sido ejes y ruedas ferroviarias de todo tipo, desde modelos simples hasta los más complejos con contactos, restricciones y diferentes características geométricas.

En mi caso particular, he estudiado un wheelset, compuesto por un eje y 2 ruedas ferroviarias normalizados, en contacto y sometidos a un sistema de cargas y restricciones. Este podría significar un punto 0 desde el que comenzar a realizar nuevos estudios, siguiendo con la línea de investigación establecida.

A medida que iba desarrollando el proyecto, he podido comprobar el inmenso campo de estudio en el que nos encontrábamos. Nos hemos ido enfrentando a limitaciones o problemas al trabajar con el software, que en sí mismas podrían comprender nuevos proyectos y también

han ido apareciendo múltiples caminos a seguir, que merecerían de igual modo un estudio propio.

Por ello, voy a enumerar una serie de posibles trabajos futuros que pueden servir de complemento a nuestro estudio y den continuidad a la línea de investigación del Departamento de Ingeniería Mecánica:

- Estudiar qué sucede con los ensayos de carga impulsiva para la frecuencia de 40 Hz, punto en el cual se reducen de forma considerable los valores de las magnitudes estudiadas, sin encontrar el motivo de ello.
- Llevar a cabo estudios y mediciones en wheelsets ferroviarios experimentales, contrastando los resultados obtenidos mediante el software con los datos reales. Realizar también el estudio de un bogie completo.
- Ampliar el estudio para un mayor número de modos de vibración y trabajar posteriormente con los mismos y también con diferentes ensayos impulsivos, dynamic time. Observando los resultados obtenidos y su similitud con los actuales.
- Utilizar un rango de frecuencias diferente para nuestra función impulsiva, que se adapte a las velocidades de giro de vehículos ferroviarios de diversa índole. Realizando los ensayos dynamic time y contrastando los resultados.
- Ampliar el estudio trabajando con diferente geometría de grieta, diferente posicionamiento de las mismas y nuevas direcciones como la axial, longitudinal, etc., incluyendo puntos en las ruedas. Podemos trabajar con una combinación de defectos introducidos simultáneamente. Además seleccionar otros puntos característicos para la toma de datos y otras magnitudes a evaluar diferentes de la tensión, desplazamiento y aceleración. Trabajar con otras variables estadísticas a las que hemos utilizado.
- Realizar los mismos estudios en otro programa de elementos finitos para contrastar los resultados. Si es posible, además, compararlos con el análisis sobre un wheelset experimental y observar cual de los 2 softwares se aproxima más a la realidad y para qué parámetros de estudio.

Como podemos observar, son éstas y otras múltiples las posibilidades de seguir desarrollando trabajos que vayan completando la línea de investigación. De la que nuestro proyecto, es una pequeña aportación, dentro del amplio campo de estudio de la mejora y evolución de los elementos mecánicos y su análisis de fallo.



CAPÍTULO 10

Presupuesto



10.1. CRITERIO

Para llevar a cabo este proyecto ha sido necesario el establecimiento de un sistema de costes, desglosado para las diferentes actividades y procesos por los que hemos ido pasando en cada una de las fases. Por ello inicialmente vamos a definir las tareas principales y una estimación temporal de cada una de ellas.

- | | |
|---|-----|
| 1. Idea base, planteamiento de objetivos y métodos: | 15h |
| 2. Documentación teórica y de estudios previos: | 30h |
| 3. Modelado de eje y rueda: | 30h |
| 4. Ensayos de simulación en Creo Elements/PRO: | 70h |
| 5. Tratamiento de datos en diversos programas: | 70h |
| 6. Obtención de resultados y conclusiones: | 25h |
| 7. Memoria del proyecto: | 70h |

Cabe destacar que estas fases de trabajo en ocasiones se han llevado a cabo al mismo tiempo, debido a la correlatividad entre ellas. Además podemos decir que de forma aproximada el proyecto ha tenido un periodo de duración de en torno a los 8 meses trabajando a media jornada, 20h semanales.

10.2. PRESUPUESTO GLOBAL

Ahora que hemos establecido y cuantificado de una forma estimada las fases de nuestro proyecto, vamos a enumerar los diferentes recursos utilizados a lo largo de estas fases:

1. Personal: Realizaremos una estimación de todas las personas que han trabajado o colaborado en el desarrollo del proyecto. Han intervenido Higinio Rubio Alonso como Ingeniero Sénior y tutor del proyecto, Zoser Kalengayi Tshilumbu como Ingeniero y cotutor, y finalmente Miguel Contra Vecino como Ingeniero estudiante y autor del presente proyecto.
2. Equipos: En estos costes englobaremos el software y el hardware del equipo informático utilizado; esto es, las licencias de Creo Elements/PRO, MATLAB y Microsoft Office 2007 y también la amortización de los equipos.
3. Otros costes directos: Vamos a incluir el transporte, costes de oficina y administración, dietas, etc.
4. Costes indirectos: se tienen en cuenta todos los costes no imputados específicamente en los apartados anteriores.

Autor:

Miguel Contra Vecino

Departamento:

Ingeniería Mecánica

Descripción del proyecto:

Título: Análisis de vibraciones de un wheelset ferroviario con defectos

Duración: 8 meses

Tasa de costes indirectos: 20%

Presupuesto Total del Proyecto:

20.680,85 €

Desglose del presupuesto:

Este desglose se encuentra reflejado en las Tablas: 10.1, 10.2, 10.3 y 10.4.

Tabla 10. 1. Costes de Personal

PERSONAL				
Nombre	Categoría	Dedicación (h)	Coste unitario (€/h)	Coste (€)
Rubio Alonso, Higinio	Ingeniero Sénior	15	70,00 €	1.050,00 €
Kalengayi Tshilumbu, Zoser	Ingeniero Sénior	15	70,00 €	1.050,00 €
Contra Vecino, Miguel	Ingeniero Técnico	280	40,00 €	11.200,00 €
			TOTAL	13.300,00 €

Tabla 10. 2. Costes de Equipos

EQUIPOS					
Descripción	Coste (€)	% Uso dedicado al proyecto	Dedicación (meses)	Periodo de depreciación (meses)	Coste imputable (€)
Equipo Informático	1.300,00 €	60%	8	48	130,00 €
Licencia Creo Elements/PRO	6.000,00 €	60%	6	12	1.800,00 €
Licencia MATLAB Estudiante	35,00 €	20%	2	12	1,17 €
Licencia Microsoft Office Estudiante	80,00 €	20%	5	12	6,67 €
TOTAL					1.937,83 €

Teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

$$\text{Amortización} = (A/B) * C * D$$

A = número de meses de dedicación del equipo

B = periodo de depreciación (meses)

C = coste del equipo

D= % de utilización del equipo para el proyecto

Tabla 10. 3. Otros costes directos

OTROS COSTES DIRECTOS		
Descripción	Empresa	Coste imputable (€)
Material de oficina e impresión documental	Varios	100,00 €
Transporte y dietas	Varios	200,00 €
TOTAL		300,00 €

Costes Indirectos = $0,1 * \Sigma \text{Costes Directos} = 0,1 * 15.537,83 \text{ €} = 1.553,78 \text{ €}$

Tabla 10. 4. Resumen del presupuesto

RESUMEN DEL PRESUPUESTO	
Descripción	Costes (€)
Personal	13.300,00 €
Equipos	1.937,83 €
Otros Costes Directos	300,00 €
Costes Indirectos	1.553,78 €
Subtotal	17.091.61 €
Impuestos (IVA)	3.589,24 €
TOTAL	20.680,85 €

El presupuesto total de este proyecto ha ascendido a la cantidad de 20.680,85 €

Leganés, julio de 2015

El ingeniero Projectista

Fdo: Miguel Contra Vecino



CAPÍTULO 11

Bibliografía



11. 1. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Manuales para Creo Elements/PRO. PTC University, 2012.
- [2] IWNICKI, S. *Handbook of Railway Vehicle Dynamics*. Taylor & Francis Group, LLC. London: CRC Press. Mayo 2006.
- [3] MOORE, H. *MATLAB Para Ingenieros*. Pearson Educación. Primera Edición, México, 2007.
- [4] Documentación de la asignatura Tecnología de Máquinas. Ingeniería Industrial, Universidad Carlos III de Madrid. Curso 2011/12.
- [5] Proceedings. *17th International Wheelset Congress*. Kiev, Ukraine. Septiembre de 2013.
- [6] Norma UNE-EN 13103:2010+A1:2011. *Aplicaciones Ferroviarias. Ejes montados y bogies. Ejes portadores. Método de diseño*. AENOR, septiembre de 2011.
- [7] Norma UNE-EN 13260:2010. *Aplicaciones Ferroviarias. Ejes montados. Requisitos de producto*. AENOR, febrero de 2010.
- [8] Norma UNE-EN 13261:2009. *Aplicaciones Ferroviarias. Ejes montados y bogies. Requisitos de producto*. AENOR, diciembre de 2009.
- [9] Catálogo Productos. *GMT (GUMMI-METALL TECHNIK) Products*. Obtenido a través del portal: www.gmt-gmbh.de. Último acceso: enero de 2015.
- [10] Gorgas García, J., Cardiel López, N., Zamorano Calvo, J. *Estadística Básica Para Estudiantes de Ciencias*. Facultad de Ciencias Físicas. Universidad Complutense de Madrid. 2011.
- [11] Ruíz Muñoz, D. *Manual de Estadística*. Departamento Economía y Empresa, Universidad Pablo de Olavide. Editado por eumed.net. 2004.
- [12] García Antúnez, R. *Análisis de las variaciones modales de una rueda ferroviaria con grietas*. Proyecto Final de Carrera. Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid. Leganés, 2013.
- [13] Fernández Matey, S. *Clasificación y análisis de la evolución de la respuesta modal de un eje ferroviario con grieta*. Proyecto Final de Carrera. Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid. Leganés, 2013.
- [14] Molina Sánchez, B. *Estudio de la creación, desarrollo y método de detección de grietas en ruedas ferroviarias*. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, 2006.
- [15] López González, J.I. *Multianálisis de un eje ferroviario mediante el software pro/engineer*. Proyecto Final de Carrera. Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid. Leganés, 2011.

- [16] Jurado Zurro, J. *Estudio del comportamiento dinámico de un vehículo ferroviario equipado con suspensión secundaria semiactiva utilizando lógica difusa*. Proyecto Final de Carrera. Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid. Leganés, 2010.
- [17] Relancio Rus, M. A. *Análisis con pro/Engineering de las variaciones modales de un eje ferroviario ante fallo*. Proyecto Final de Carrera. Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid. Leganés, 2012.
- [18] Ruíz Sandoval, E. *Análisis y metodología de ensayo de seguridad, confort y condiciones de carga de material móvil ferroviario remolcado*. Proyecto Final de Carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, 2008.
- [19] Argüelles Iñiguez, A. *Análisis modal de un eje ferroviario mediante pro/engineer*. Proyecto Final de Carrera. Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid. Leganés, 2012.
- [20] Zamora Abad, A. *Estudio mecánico avanzado de un eje de ferrocarril*. Proyecto Final de Carrera. Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid. Leganés, 2010.
- [21] Herreros Garrido, A. *Estudio de la defectología en ruedas ferroviarias*. Proyecto Final de Carrera. Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid. Leganés, 2010.
- [22] Ortega Lester, E. *Simulación del contacto rueda-raíl con pro/engineer*. Proyecto Final de Carrera. Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid. Leganés, 2012.
- [23] Marco Esteban, E. *Metodología para el análisis a fatiga mediante el código pro engineer: aplicación a un eje ferroviario*. Proyecto Final de Carrera. Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid. Leganés, 2010.
- [24] Fraile Cuesta, F. J. *Modelado según norma de un eje ferroviario completo: vibraciones impulsivas*. Proyecto Final de Carrera. Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid. Leganés, 2013.
- [25] Web de la Comisión Europea. *Minimización de los fallos en los ejes en el transporte ferroviario*: http://cordis.europa.eu/result/rcn/151790_es.html. Último acceso: abril de 2015.



ANEXOS



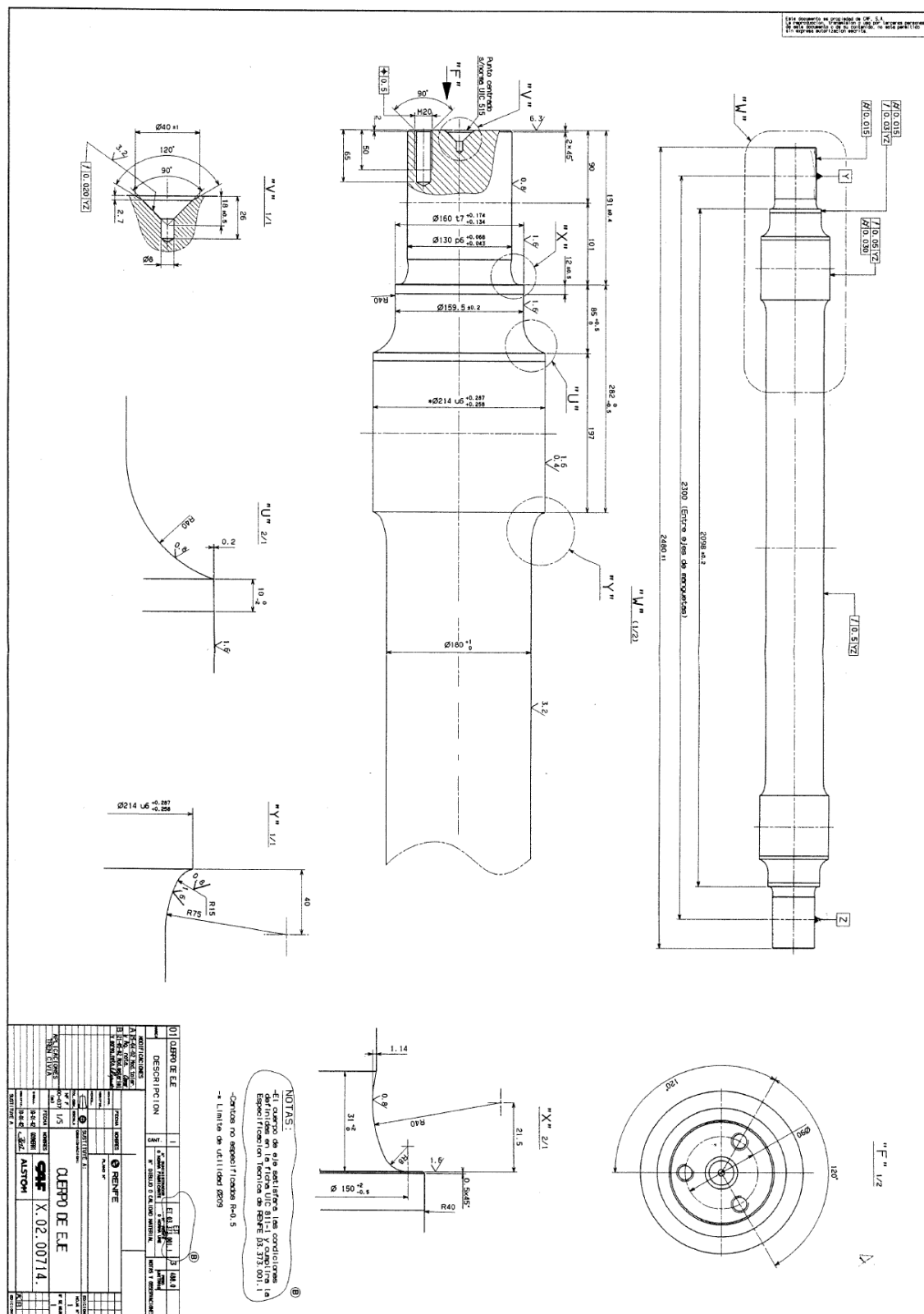


ANEXO A

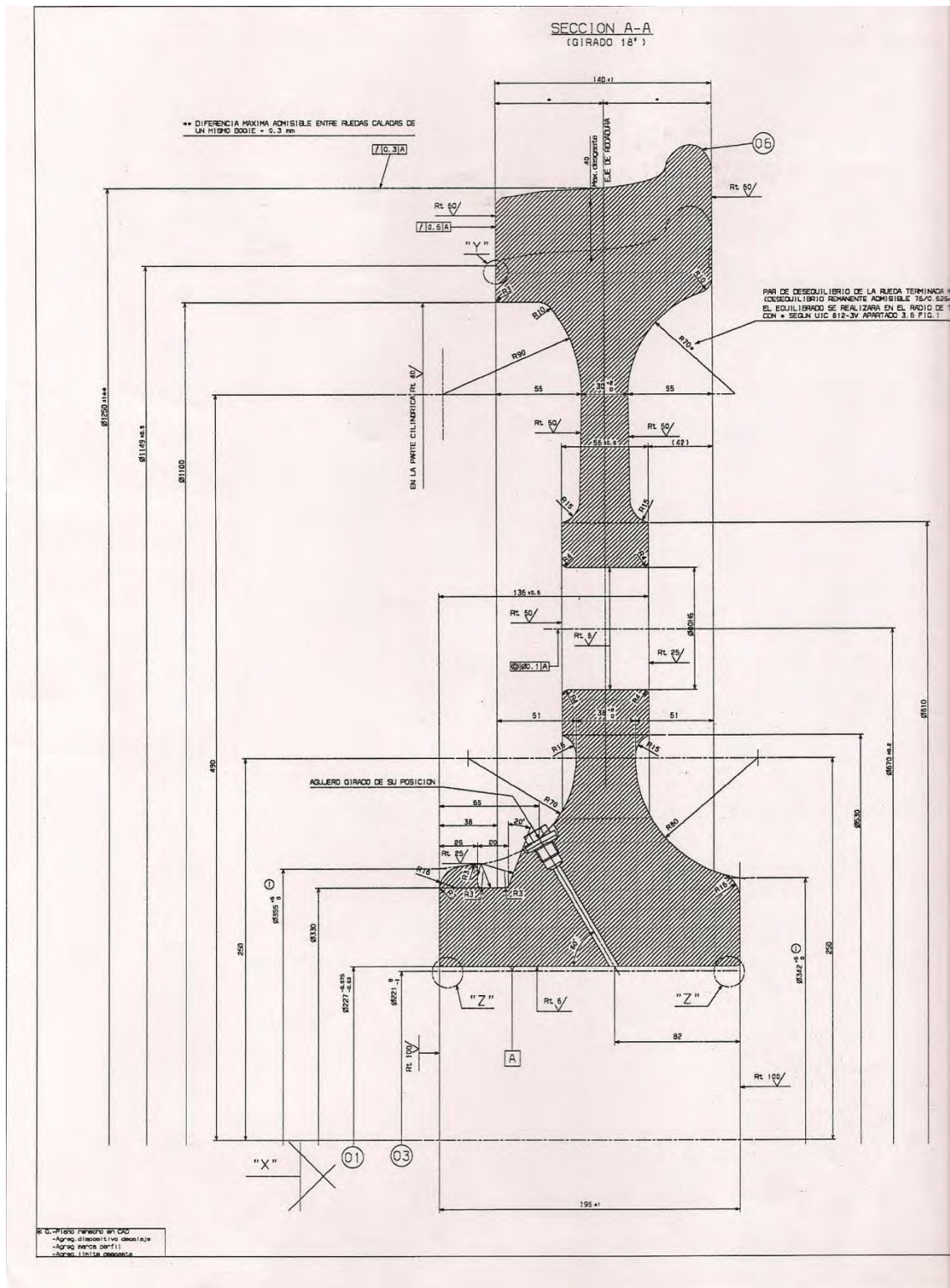
Planos

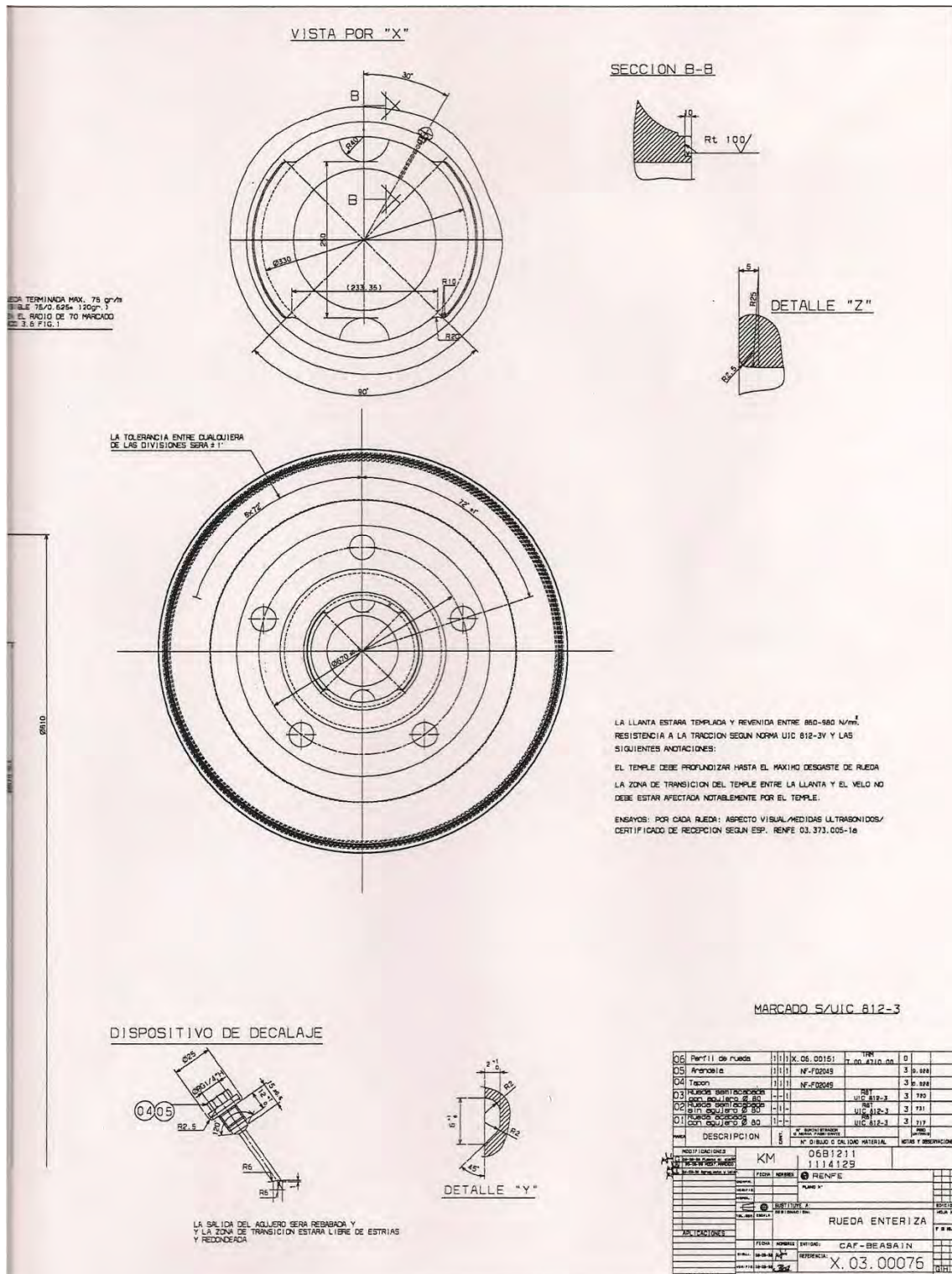


A.1. PLANO DEL EJE



A.2. PLANOS DE LA RUEDA









ANEXO B

Tablas y gráficos: Dynamic Time



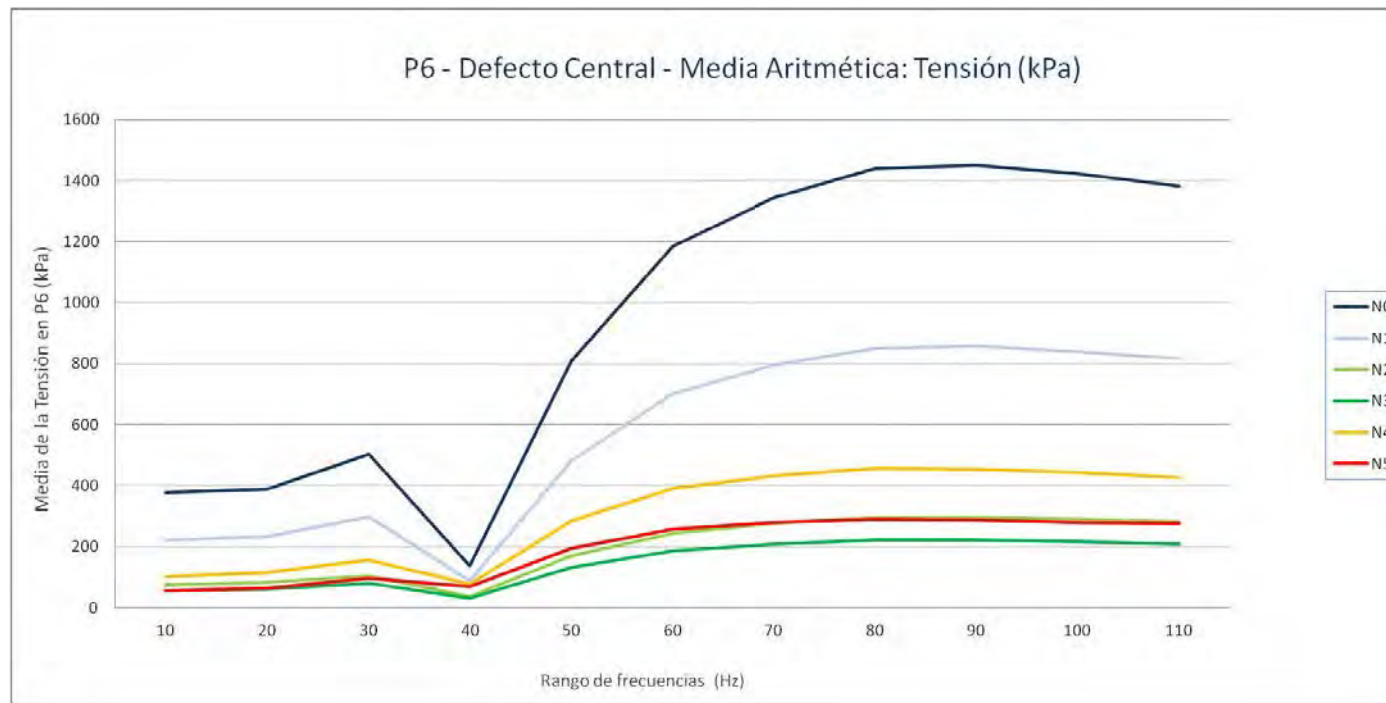
B.1. TABLAS Y GRÁFICOS: DYNAMIC TIME

Obtendremos 9 tablas con variables estadísticas para cada uno de los 6 puntos de toma de datos. A su vez existirán 3 magnitudes a evaluar y 2 defectos distintos. Por lo tanto, mediante este proceso obtendremos un gran número de tablas con sus respectivas gráficas asociadas.

Éstas nos van a permitir interpretar los datos y las tendencias generadas al ir modificando las diversas variables con las que estamos trabajando.

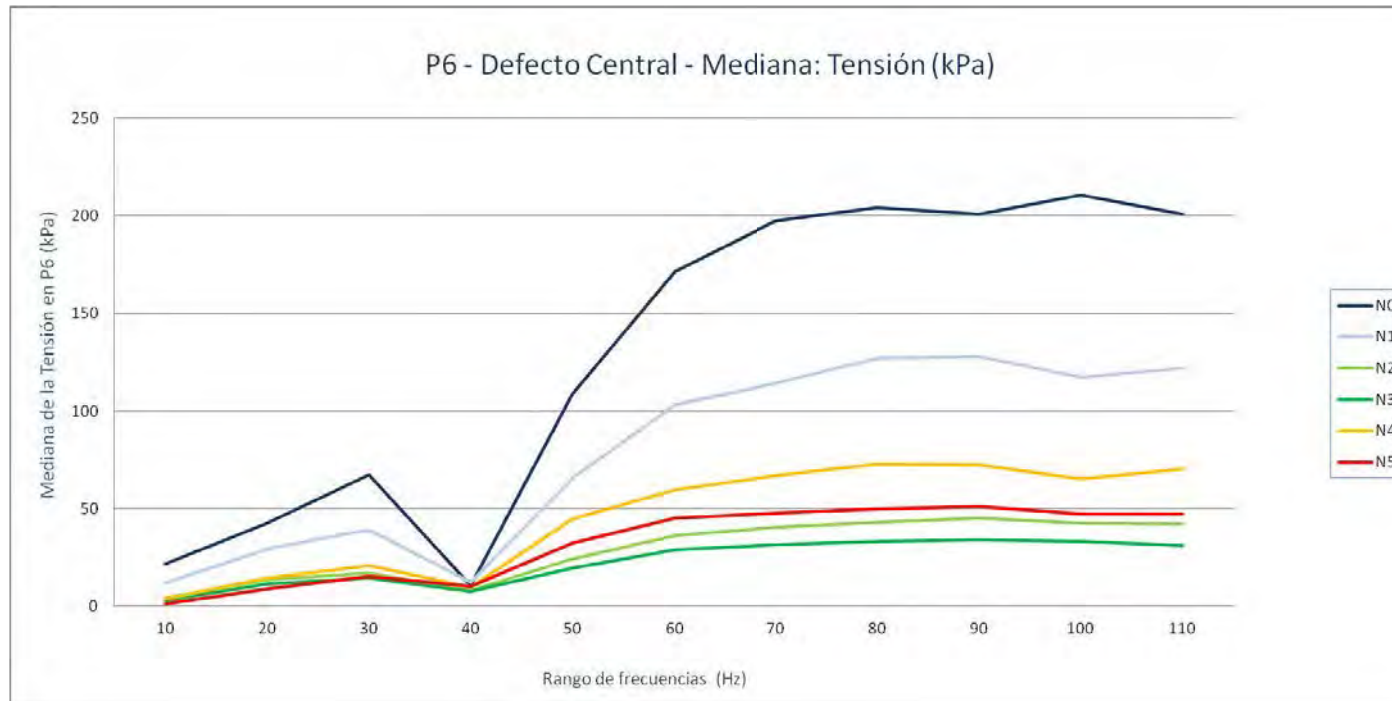
P6. Grieta central - Tensión (kPa): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	377,848416	388,491659	502,067384	138,490467	808,934177	1186,52424	1344,49469	1439,43461	1449,45826	1424,1813	1383,37606
N1	222,7278	232,288916	298,657085	88,6568205	482,549986	703,519428	795,431063	851,160907	858,217566	839,441644	817,506228
N2	76,0394148	82,1119046	104,942298	35,8520673	170,038054	244,949029	276,052708	294,785773	296,163582	289,999617	281,274921
N3	54,9493391	61,5400332	79,1253503	32,1834818	131,746369	186,446323	208,126504	221,339505	221,348482	216,947713	209,042474
N4	101,874081	115,064661	156,506633	78,7067839	284,657165	391,907175	432,673165	455,559579	453,906979	442,049667	426,413704
N5	56,186444	65,0650612	95,4904166	67,8884838	194,742515	257,954722	278,720027	291,280062	287,298613	278,347235	277,789723



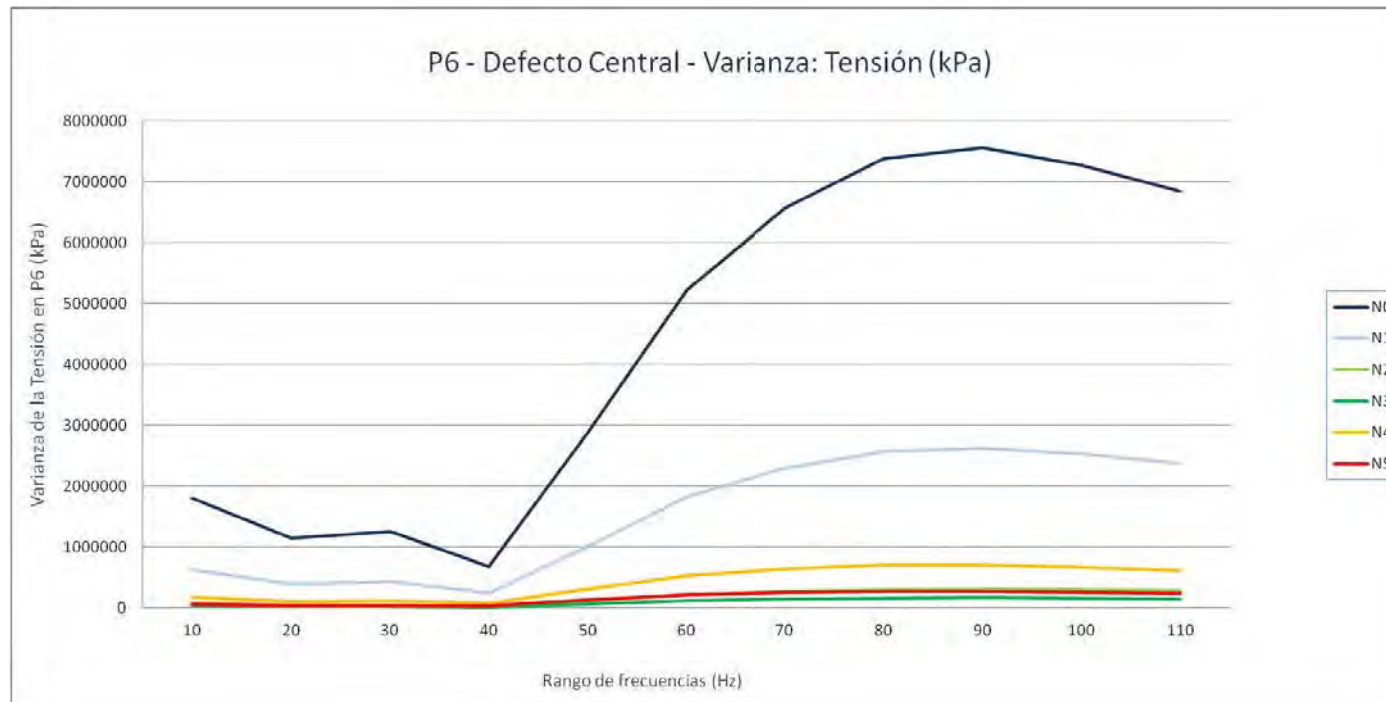
P6. Grieta central - Tensión (kPa): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	21,58351994	42,6631546	67,29025269	10,53610992	108,78825	171,459404	197,572052	204,1396027	200,6269531	210,5022049	200,9400482
N1	12,05465984	29,2624855	39,33084488	12,15668488	65,68623734	103,214901	114,3362503	126,9916534	128,03825	117,1286011	121,9582481
N2	4,169936419	13,72712994	16,95302582	8,105259418	24,44709015	36,04358482	40,66013527	42,83621407	45,15032578	42,78376007	41,95185089
N3	2,852980018	11,5010848	14,53112984	7,703999519	19,74253464	28,86865997	31,56053543	33,29950523	34,04435349	33,33963966	31,24170589
N4	3,842704058	14,2761097	20,66325951	9,87742424	44,65969849	59,49702835	67,06784821	72,80831909	72,57689667	64,98169708	70,51167297
N5	1,014778972	8,721650124	15,3048296	10,27651024	32,16688156	45,06206131	47,75526047	49,79602051	51,12955856	47,2879715	47,41537857



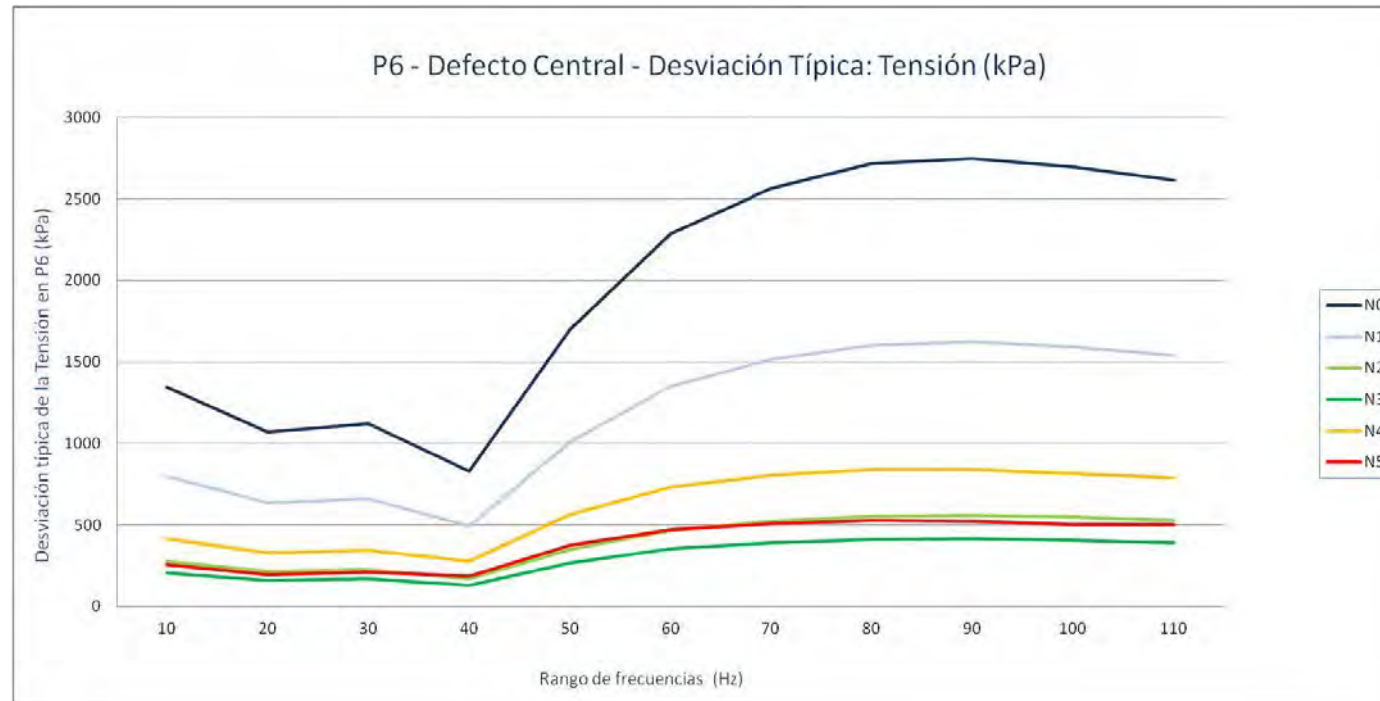
P6. Grieta central - Tensión (kPa): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	1810821,76	1149559,66	1259708,48	685245,637	2888211,86	5237097,78	6577094,52	7379259,33	7561768,8	7269887,36	6849015,79
N1	635629,848	401624,735	439731,633	240846,144	1015928,86	1833876,69	2296432,05	2572150,96	2627773,38	2528651,96	2375928,49
N2	75671,3304	47450,8035	52070,5219	29012,3701	122937,053	219794,174	273288,499	304998,794	310875,447	298175,629	280279,516
N3	42334,179	26276,1944	28878,2818	16799,6689	71518,6831	124858,596	153042,458	169751,773	171758,3	163429,688	153446,428
N4	173963,479	106899,343	118590,735	76337,8335	320490,447	539052,768	644227,701	707251,496	704879,274	665024,501	619089,605
N5	65661,7422	38743,1673	43695,1112	34691,1398	138887,128	221901,168	256358,14	277151,851	271638,881	252805,416	250955,292



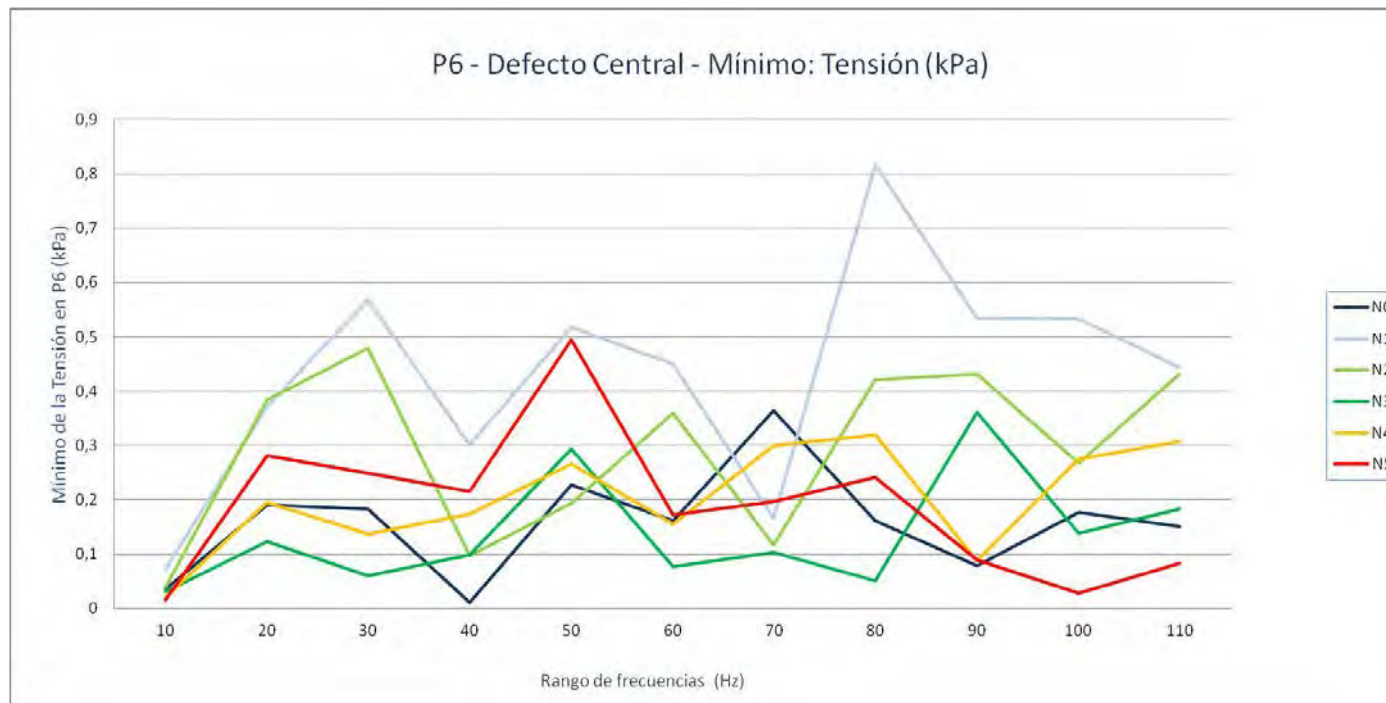
P6. Grieta central - Tensión (kPa): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	1345,667775	1072,175202	1122,367354	827,7956494	1699,473995	2288,470621	2564,584669	2716,479217	2749,867051	2696,272865	2617,062436
N1	797,2639763	633,7386965	663,1226382	490,760781	1007,932962	1354,207032	1515,398314	1603,792679	1621,040831	1590,173564	1541,404714
N2	275,0842242	217,8320533	228,1896621	170,3301795	350,6238058	468,8221137	522,7700249	552,2669591	557,5620568	546,0546024	529,4143145
N3	205,7527131	162,099335	169,9361109	129,6135368	267,4297723	353,3533589	391,2064133	412,0094326	414,4373291	404,2643792	391,7223862
N4	417,0892934	326,9546501	344,370056	276,2930211	566,1187573	734,2021303	802,6379636	840,9824587	839,5708868	815,4903439	786,8224735
N5	256,2454726	196,8328411	209,0337561	186,2555766	372,6756339	471,0638683	506,3182204	526,4521359	521,1898699	502,7975898	500,9543812



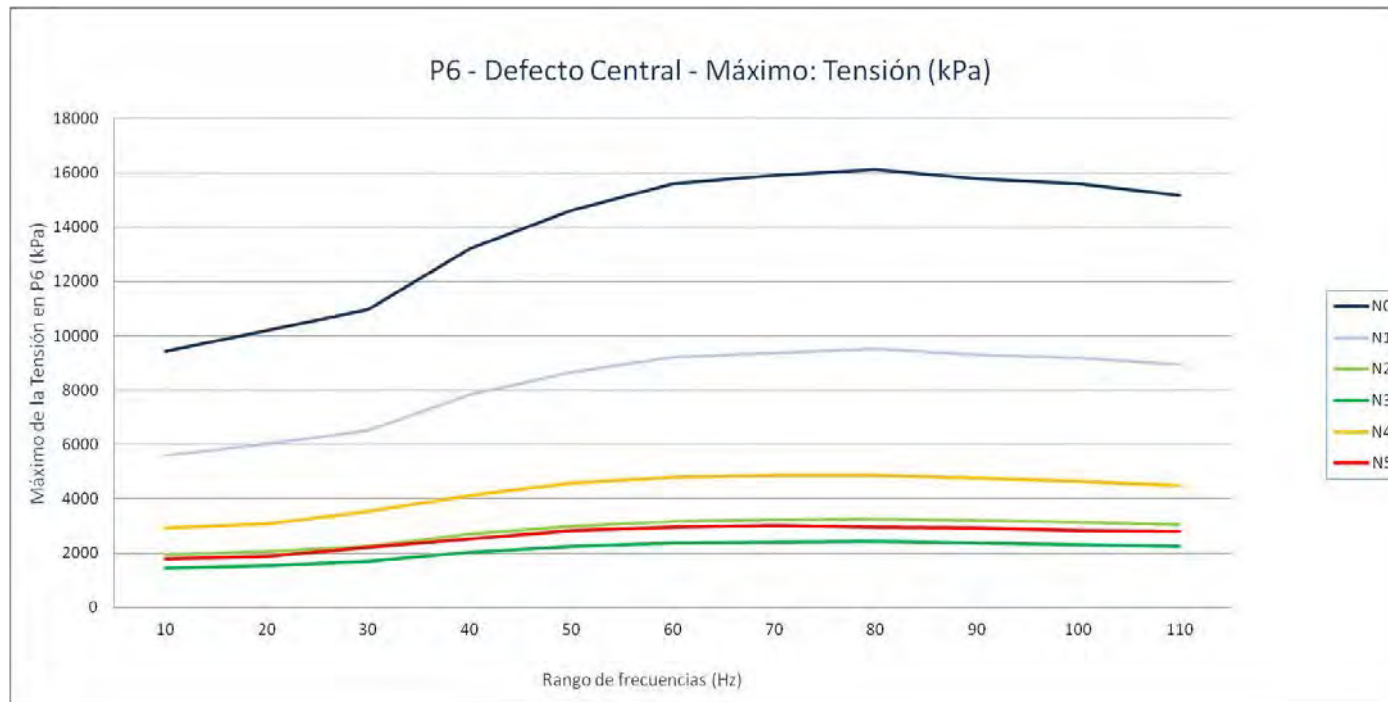
P6. Grieta central - Tensión (kPa): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,03580978	0,1905648	0,18254571	0,01037061	0,2274351	0,1616399	0,36461809	0,1614802	0,07855489	0,1761031	0,1503149
N1	0,07174801	0,3722913	0,56864959	0,30157131	0,51768672	0,44984031	0,16648529	0,81685537	0,53382868	0,53371531	0,44405359
N2	0,03823258	0,38484871	0,4799127	0,09668062	0,1930328	0,35987729	0,1171329	0,42105001	0,43180251	0,26732501	0,43127999
N3	0,03099286	0,1231833	0,05970803	0,09858713	0,2936388	0,07683943	0,1035013	0,05090939	0,3609893	0,1380159	0,1824562
N4	0,01997173	0,1949973	0,13652471	0,1734319	0,26626059	0,15500119	0,29974601	0,32024711	0,08750666	0,27471459	0,3080239
N5	0,01608495	0,28088549	0,2497257	0,2148606	0,49449909	0,1729383	0,19693311	0,2411924	0,08956263	0,02821398	0,08242695



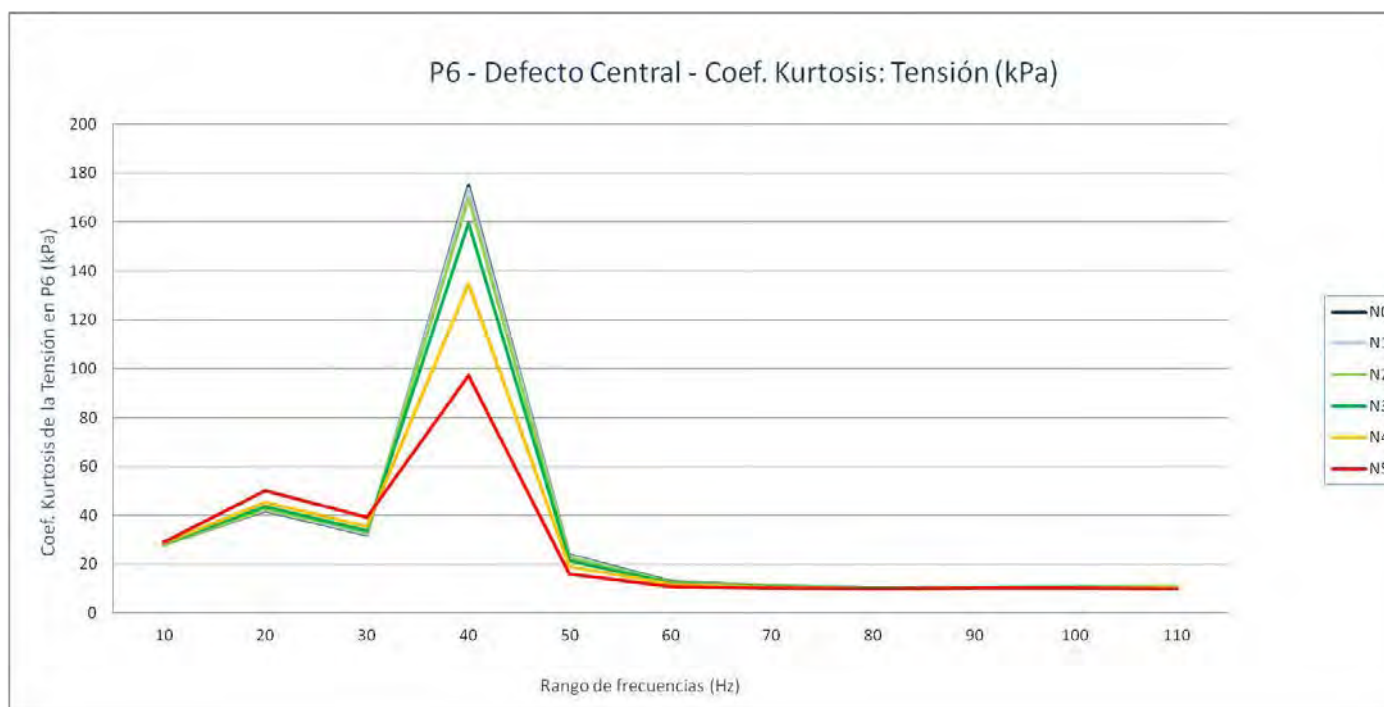
P6. Grieta central - Tensión (kPa): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	9438,94531	10199,21	10964,3604	13213,6602	14623,3496	15615,6396	15895,9102	16129,1797	15797,7305	15615,4102	15181,9102
N1	5591,7251	6027,6958	6507,33984	7819,96777	8654,52148	9224,73926	9375,94922	9509,39844	9309,30957	9192,83496	8932,2627
N2	1928,89001	2071,37988	2257,35303	2698,41699	2986,33594	3173,44312	3217,87695	3261,06396	3189,44897	3145,427	3053,31812
N3	1440,91895	1534,57104	1706,02795	2021,26501	2240,96802	2367,40698	2399,49512	2419,58105	2369,24512	2320,63794	2250,96802
N4	2929,33594	3076,86011	3523,45093	4109,15088	4570,42383	4784,40723	4865,0459	4852,48877	4763,30615	4643,01807	4483,16602
N5	1790,73596	1874,13	2214,36499	2538,28101	2838,354	2946,76709	3011,229	2962,89404	2926,76196	2837,78589	2790,69312



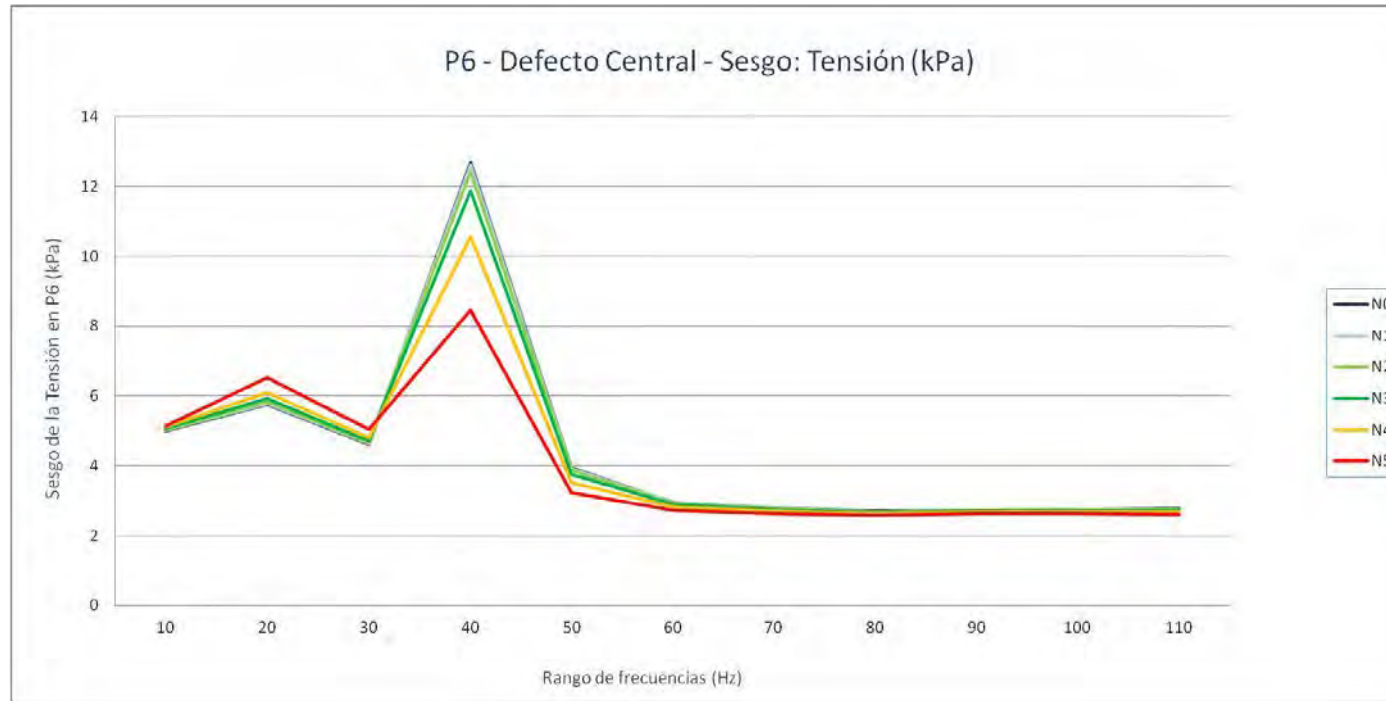
P6. Grieta central - Tensión (kPa): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	27,9212628	41,8594468	32,1811447	174,922883	23,8669987	12,7808822	11,2505654	10,4449773	10,6965543	10,9112865	11,0608683
N1	27,9721768	42,1692998	32,4749432	173,703702	23,6513375	12,7366794	11,2223447	10,4220336	10,6792778	10,8504721	11,0059541
N2	28,0393366	42,6803744	32,9576076	169,79431	22,9781375	12,586271	11,1364426	10,3556873	10,5968673	10,7641105	10,8898463
N3	28,308961	43,7245786	33,8837903	159,696119	21,6073836	12,3413003	11,0048999	10,2622551	10,5185157	10,6632698	10,7198078
N4	28,6744913	45,5198546	35,3392923	134,892033	19,1136161	11,7531193	10,6694588	10,0082041	10,3096066	10,3824858	10,421221
N5	28,8110573	50,2162426	39,1822993	97,2590809	16,0952536	10,9810283	10,217136	9,72034265	10,0503182	10,0739278	9,94088348



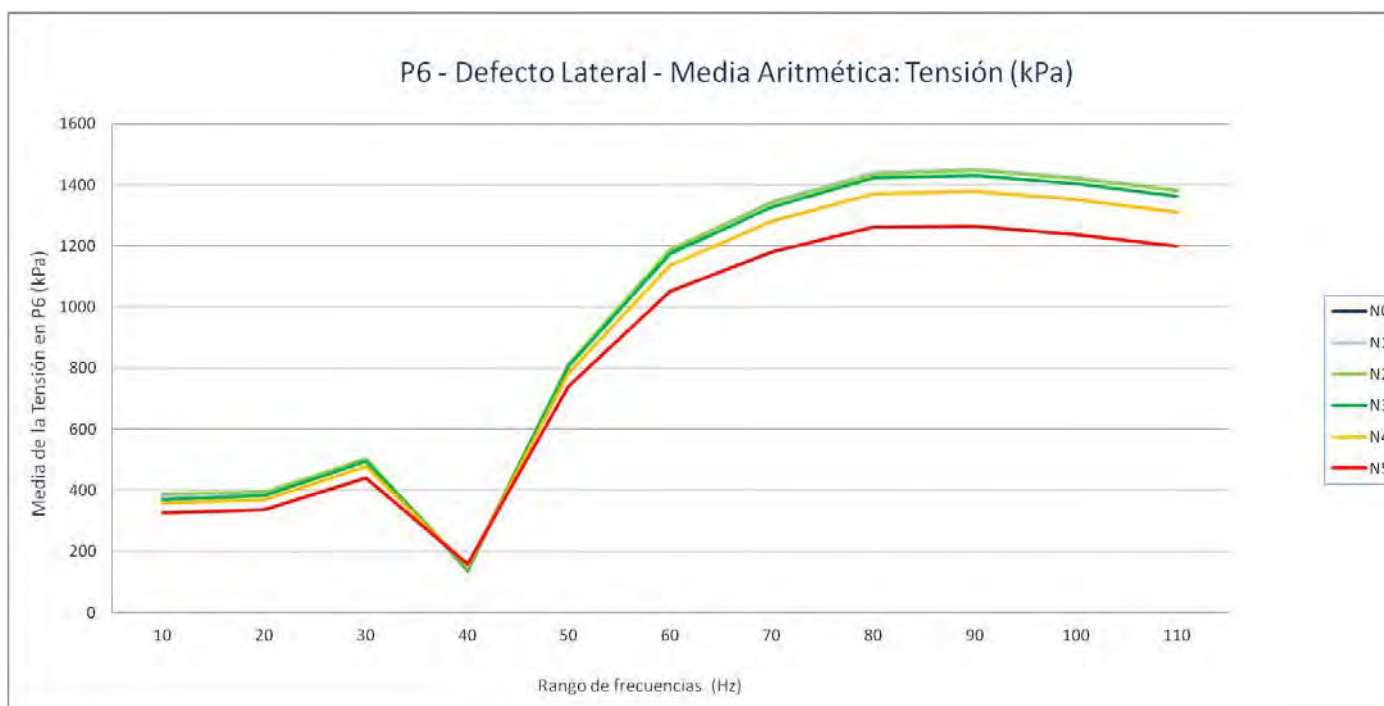
P6. Grieta central - Tensión (kPa): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,0052691	5,75077618	4,61093008	12,6773611	3,9387858	2,95059515	2,79094772	2,69399202	2,73084266	2,74861377	2,76627966
N1	5,01209264	5,77990672	4,63220617	12,6151869	3,92058328	2,9452153	2,78671589	2,69060711	2,72851613	2,74028699	2,75944159
N2	5,02311948	5,82566288	4,66400604	12,4156133	3,86430793	2,9283242	2,77571093	2,68179326	2,71654648	2,72940117	2,74444866
N3	5,06011143	5,91941686	4,71939774	11,8792398	3,74325187	2,89776625	2,75528981	2,66686819	2,70168234	2,71249453	2,71930809
N4	5,11552533	6,08406553	4,79425405	10,5554315	3,51752353	2,82418641	2,70758003	2,62960491	2,66718306	2,66954324	2,67688945
N5	5,13969964	6,51483864	5,0347949	8,46102206	3,23114577	2,725302	2,6410119	2,58307289	2,6259658	2,62098044	2,60514048



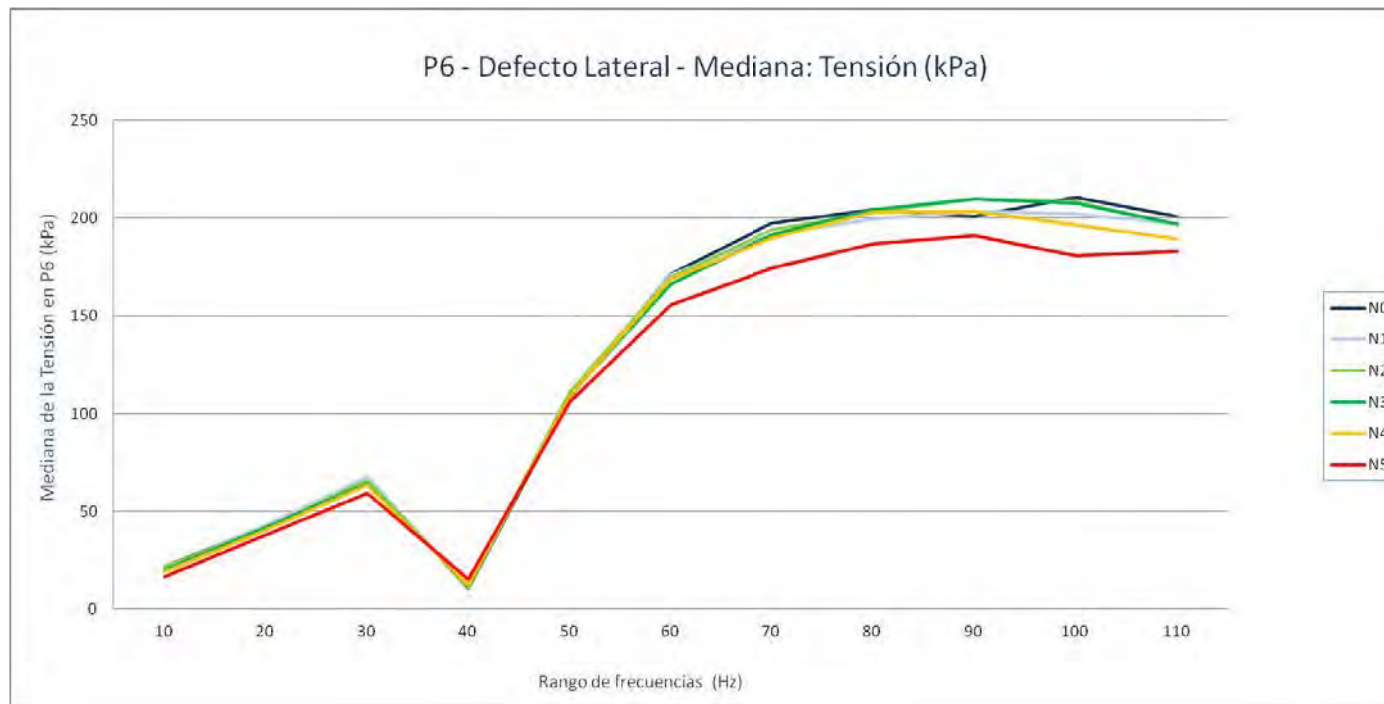
P6. Grieta lateral - Tensión (kPa): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	377,848416	388,491659	502,067384	138,490467	808,934177	1186,52424	1344,49469	1439,43461	1449,45826	1424,1813	1383,37606
N1	381,321477	390,139349	503,302409	140,708727	811,532521	1187,86982	1345,01549	1439,41665	1450,00487	1423,86225	1383,11755
N2	389,328228	393,464736	504,519809	144,191868	813,319494	1186,99365	1341,79148	1435,00946	1447,64351	1419,66843	1380,73506
N3	370,102002	382,882557	495,213451	144,545404	806,354311	1174,77556	1328,3792	1422,0081	1432,22542	1402,53857	1363,55584
N4	358,914874	370,039305	478,105678	149,790129	785,097983	1136,70382	1282,26456	1371,45372	1378,2353	1351,06631	1310,81752
N5	326,386989	337,662637	439,247196	158,836223	739,5813	1052,16589	1180,38388	1260,79139	1264,96961	1236,90302	1198,83474



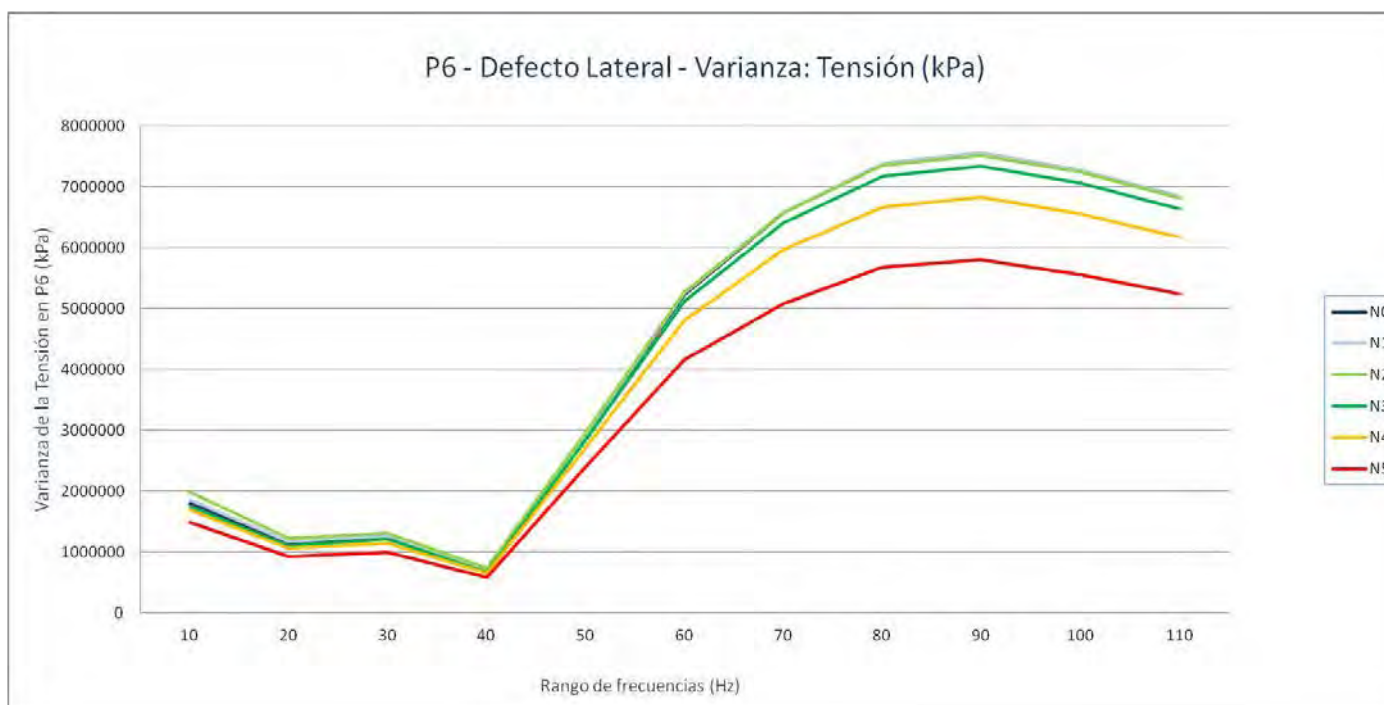
P6. Grieta lateral - Tensión (kPa): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	21,58351994	42,6631546	67,29025269	10,53610992	108,78825	171,459404	197,572052	204,1396027	200,6269531	210,5022049	200,9400482
N1	21,01367474	42,84985542	67,30187607	10,90254498	110,0766487	171,0182953	191,6156006	199,3319016	203,3675003	201,9525528	196,9866028
N2	21,87180519	41,36564636	65,94332123	10,96848536	111,1411018	169,5062027	194,014801	202,8075943	209,5464478	208,6345444	196,486702
N3	20,15737438	41,92750931	64,24758911	12,03161001	109,6535988	166,2906952	191,6276016	204,0236969	209,551651	207,5279541	196,8224487
N4	19,18672943	40,56845856	63,3306694	12,52134991	108,9319	168,6053009	189,6894073	202,9898071	203,5171051	196,7160034	189,2147064
N5	16,39041996	37,89455032	59,38262939	15,14613485	106,0710983	155,6791534	174,4560471	186,85215	191,1784515	180,8544998	182,8467026



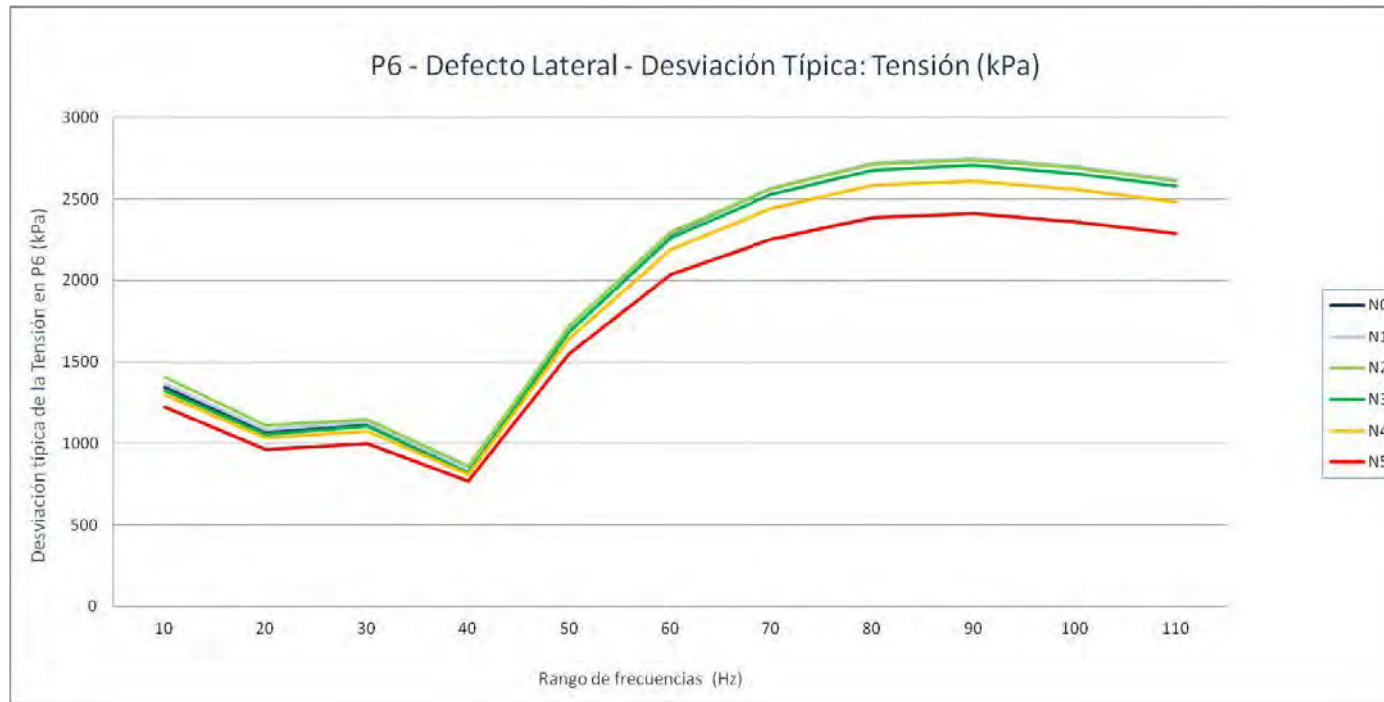
P6. Grieta lateral - Tensión (kPa): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	1810821,76	1149559,66	1259708,48	685245,637	2888211,86	5237097,78	6577094,52	7379259,33	7561768,8	7269887,36	6849015,79
N1	1862787,54	1175737,32	1276802,29	701505,168	2915422,38	5257320,88	6587936,49	7381872,1	7557004,54	7268482,93	6846286,28
N2	1983377,73	1235174,96	1313327,81	738234,115	2962582,8	5273236,81	6577324,91	7350845,68	7513357,27	7239871,25	6816528,26
N3	1758027,75	1114860,81	1224064,14	671369,683	2840657,04	5121982,96	6405190,6	7175586,2	7341149,46	7061200,49	6645316,96
N4	1695284,26	1065696,28	1155678,99	652093,036	2705643,88	4806868,19	5970665,03	6675209,76	6827294,83	6553202,75	6172468,26
N5	1491985,26	926151,152	993568,439	592484,155	2400544,14	4157717,8	5079822,13	5681485,18	5808190,56	5561935,18	5238024,75



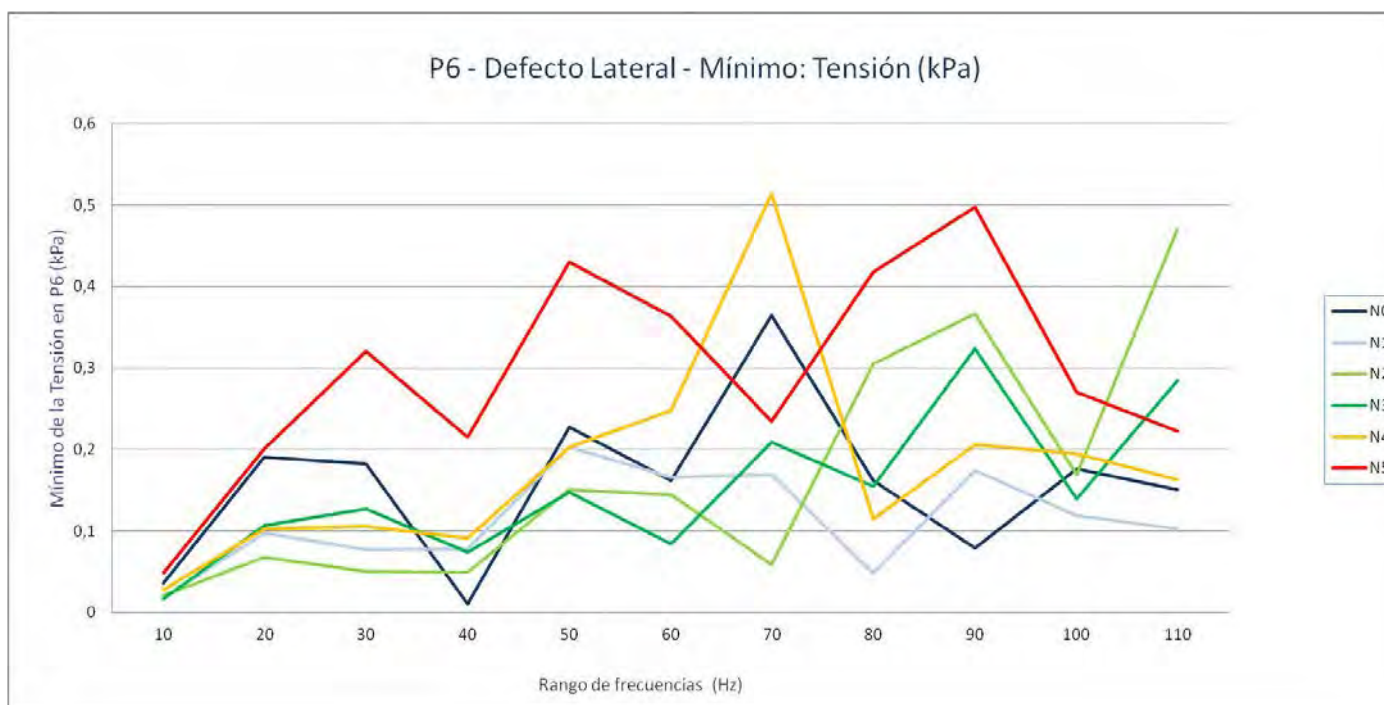
P6. Grieta lateral - Tensión (kPa): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	1345,667775	1072,175202	1122,367354	827,7956494	1699,473995	2288,470621	2564,584669	2716,479217	2749,867051	2696,272865	2617,062436
N1	1364,83975	1084,314217	1129,956763	837,5590536	1707,460798	2292,884837	2566,697585	2716,960085	2749,000643	2696,012412	2616,5409
N2	1408,324439	1111,384255	1146,005154	859,2055138	1721,2155	2296,352937	2564,629586	2711,244305	2741,050396	2690,700885	2610,848189
N3	1325,906387	1055,869694	1106,37432	819,3715169	1685,424885	2263,179834	2530,847803	2678,728468	2709,455565	2657,291947	2577,851229
N4	1302,03082	1032,325666	1075,02511	807,5227776	1644,884152	2192,457112	2443,49443	2583,642731	2612,909266	2559,92241	2484,445262
N5	1221,468485	962,3674722	996,7790324	769,7299235	1549,368947	2039,048259	2253,846074	2383,586621	2410,018789	2358,375537	2288,673142



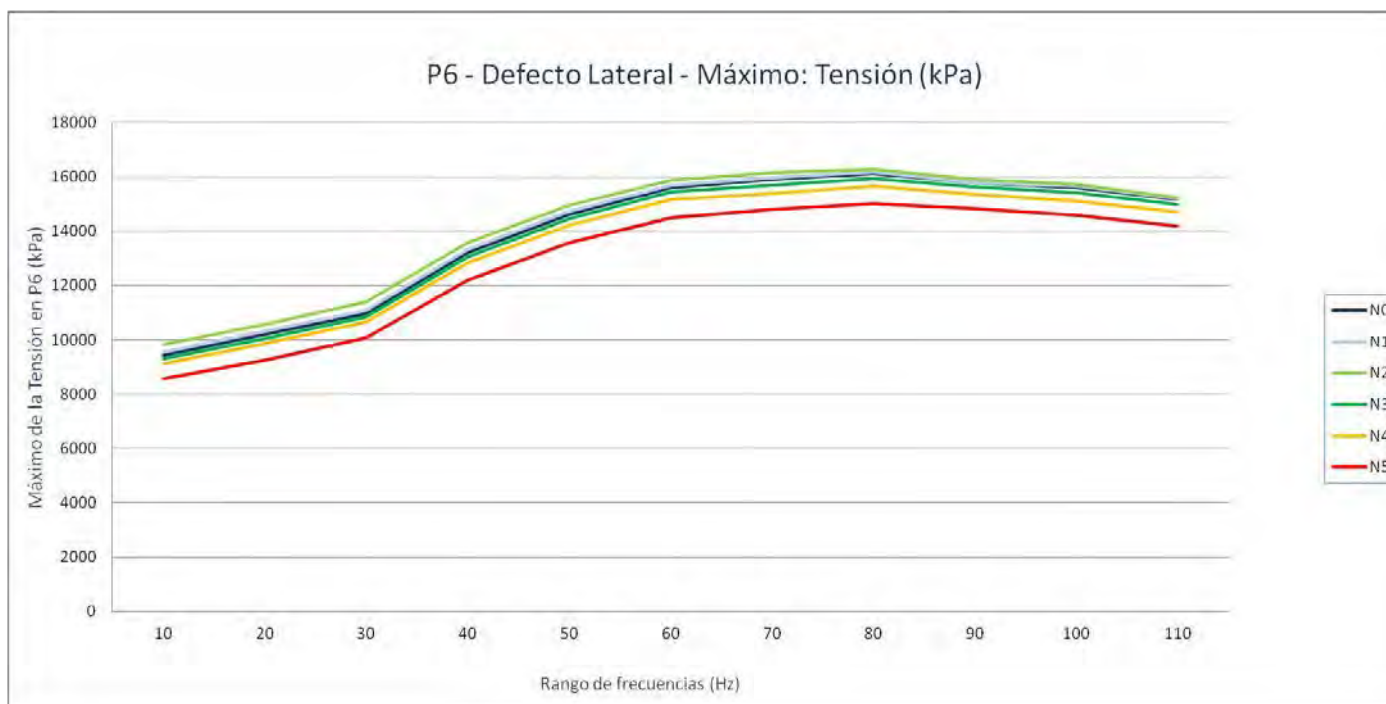
P6. Grieta lateral - Tensión (kPa): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,03580978	0,1905648	0,18254571	0,01037061	0,2274351	0,1616399	0,36461809	0,1614802	0,07855489	0,1761031	0,1503149
N1	0,01763192	0,09769185	0,07727922	0,07775063	0,2023706	0,16622999	0,1690726	0,04827499	0,1744405	0,1187634	0,1023222
N2	0,0209654	0,06781231	0,05025094	0,04928102	0,1506471	0,14432511	0,05856358	0,30493021	0,36706591	0,1686672	0,47136101
N3	0,01671339	0,1062971	0,1271743	0,0741777	0,14739279	0,08363127	0,2090551	0,1546905	0,32347789	0,1392674	0,28491959
N4	0,02746259	0,1029403	0,1054027	0,09166744	0,20287339	0,24783839	0,51375872	0,1143865	0,20551249	0,19492809	0,1631263
N5	0,04860541	0,2006529	0,32073161	0,2146055	0,4300625	0,36322519	0,2344033	0,4182708	0,4973903	0,2700057	0,2227578



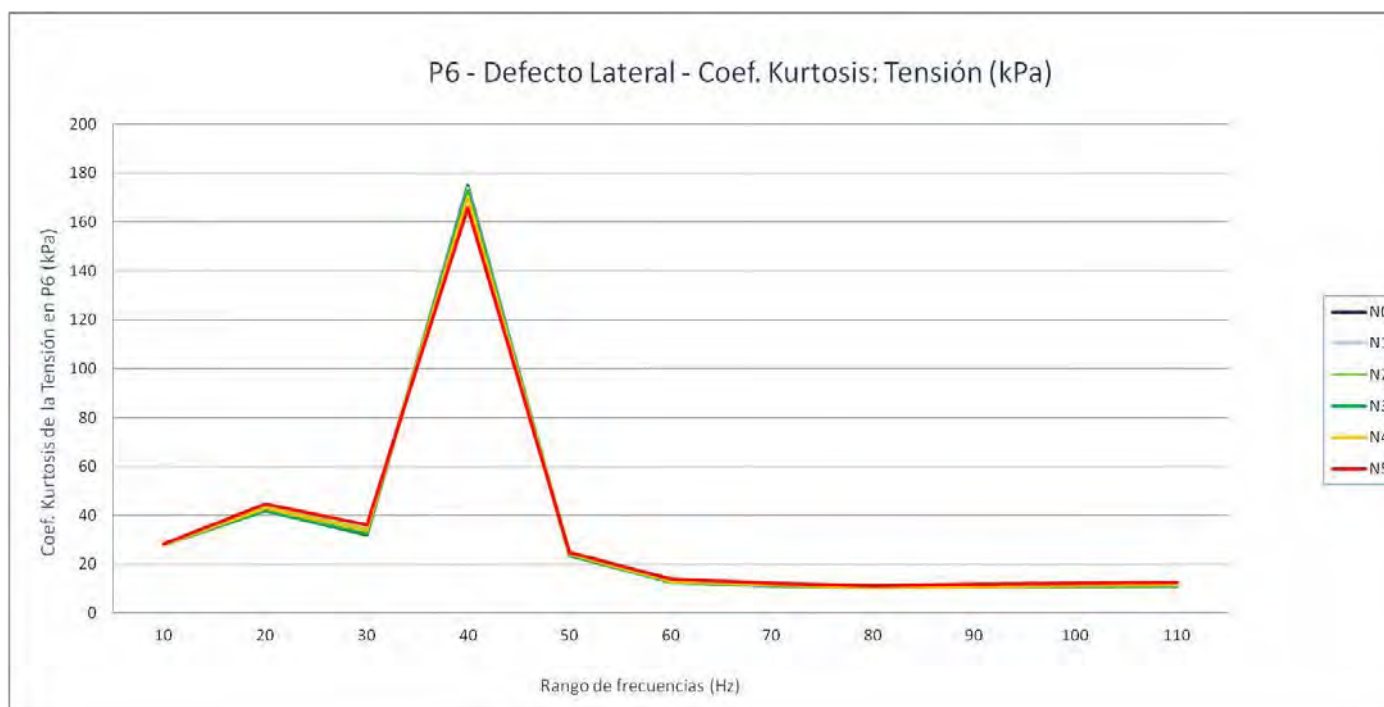
P6. Grieta lateral - Tensión (kPa): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	9438,94531	10199,21	10964,3604	13213,6602	14623,3496	15615,6396	15895,9102	16129,1797	15797,7305	15615,4102	15181,9102
N1	9562,10547	10313,9199	11100,5801	13328,9102	14731,3896	15700,9805	15975,6904	16175,4004	15799,9902	15649,5898	15198,4902
N2	9840,29492	10579,0498	11400,2998	13587,3096	14969,3701	15892,0303	16160,2197	16279,9199	15902,7998	15730,8096	15239,1104
N3	9312,47656	10053,8398	10830,5498	13056,9297	14463,0996	15439,3701	15696,7998	15943,54	15637,0596	15416,25	14997,5
N4	9135,31738	9856,62695	10650,4902	12827,8799	14219,6699	15167,7305	15402,6396	15654,2402	15365,5801	15120,9297	14718,6904
N5	8564,16895	9261,70996	10072,1104	12205,5801	13572,3604	14509,6299	14792,5996	15023,5996	14831,54	14597,6201	14192,3799



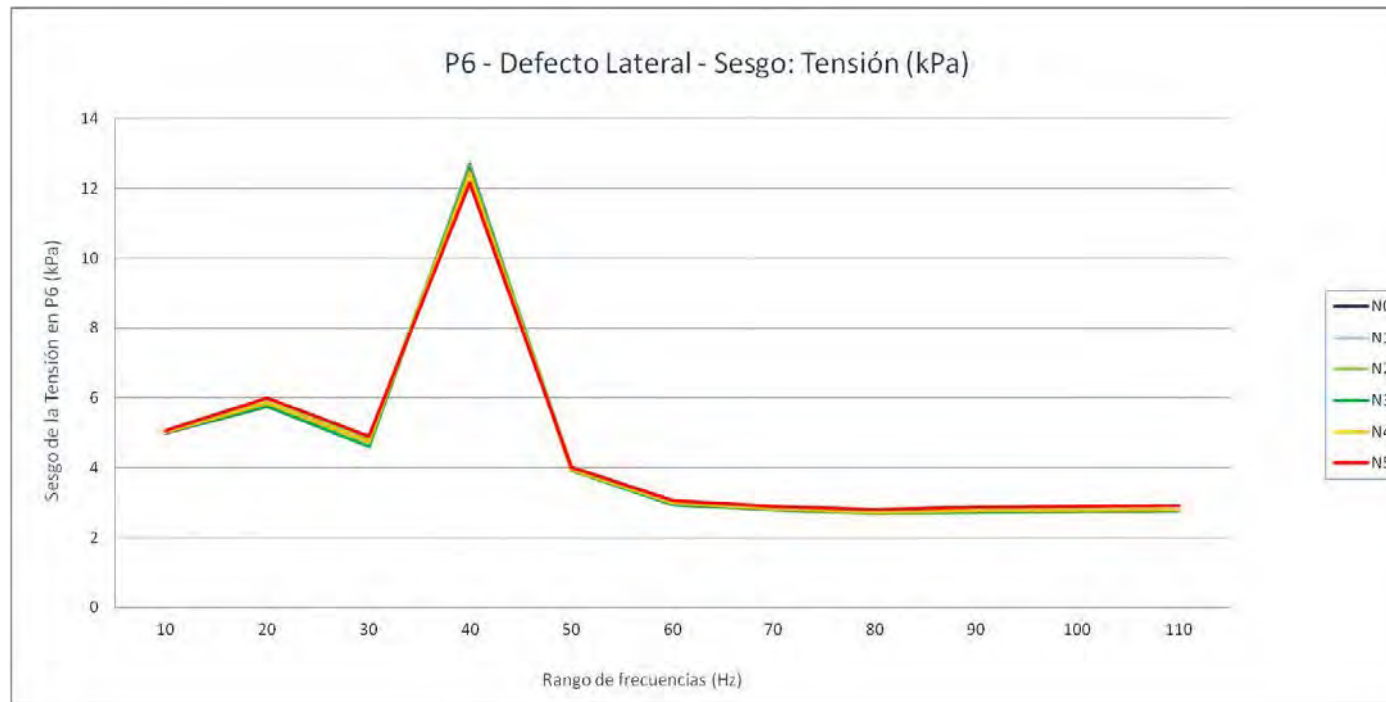
P6. Grieta lateral - Tensión (kPa): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	27,9212628	41,8594468	32,1811447	174,922883	23,8669987	12,7808822	11,2505654	10,4449773	10,6965543	10,9112865	11,0608683
N1	27,9550672	42,2716569	32,8493603	174,086143	24,16759	12,876988	11,2995613	10,4731432	10,6996985	10,8968074	11,0451387
N2	28,0140708	43,2442066	34,5023823	172,51428	25,0624006	13,1698607	11,448969	10,5661306	10,7412162	10,9096713	11,0741525
N3	27,9725498	42,0551515	32,2992033	172,904932	23,563165	12,7616282	11,2532555	10,4668781	10,7641304	10,9752979	11,1410046
N4	28,0576455	42,9296377	33,687495	170,456242	24,0972298	13,1068248	11,5026357	10,6926919	11,0394002	11,2809497	11,44998
N5	28,2649045	44,626872	36,1141491	165,646435	24,9849575	13,9315435	12,2458176	11,3922769	11,9446284	12,2570955	12,4564276



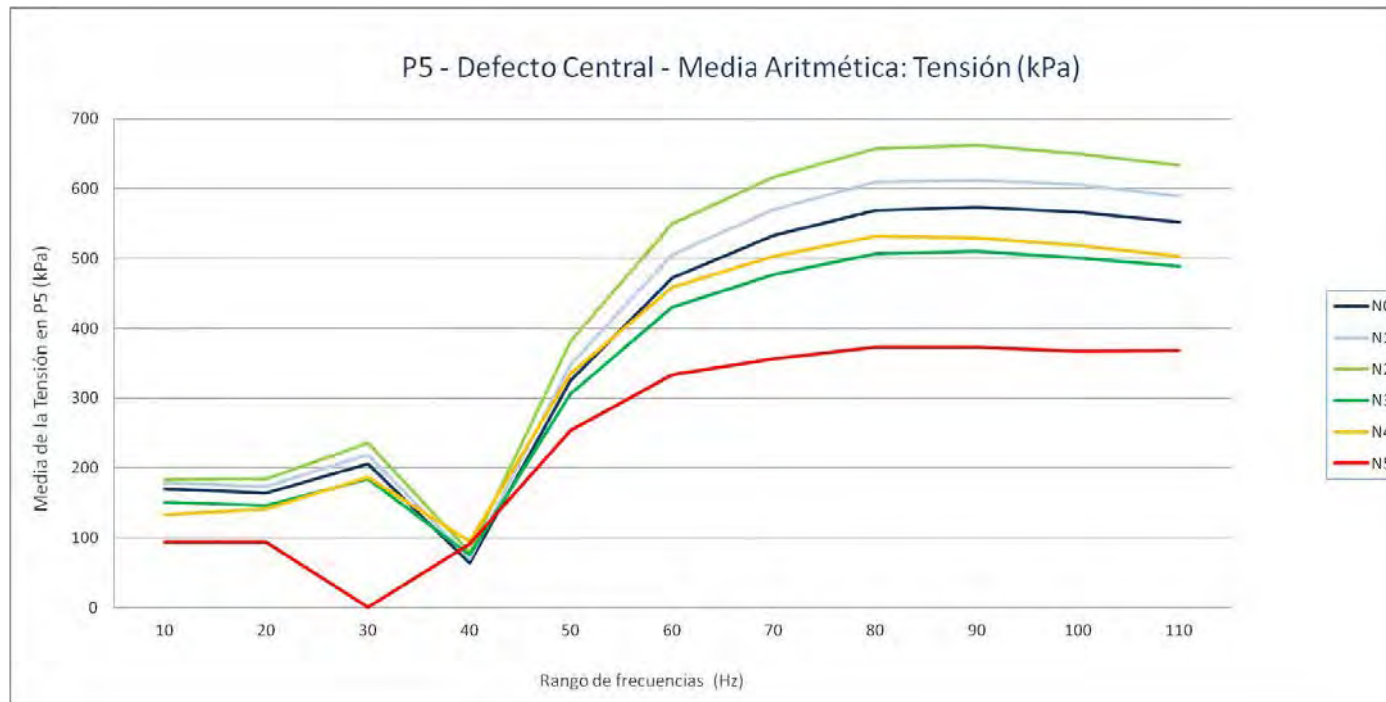
P6. Grieta lateral - Tensión (kPa): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,00527644	5,75082966	4,6110038	12,6773785	3,93884526	2,95061634	2,79097719	2,69399834	2,73084364	2,74861592	2,76627966
N1	5,01058033	5,7903883	4,66536658	12,6483875	3,96506462	2,96020269	2,7960618	2,69695383	2,73080424	2,74685938	2,76430197
N2	5,02060181	5,88328676	4,79968478	12,5991203	4,04213462	2,9895289	2,81163287	2,70688828	2,73493346	2,74834262	2,76789033
N3	5,01225171	5,76667822	4,61616039	12,5662063	3,91283957	2,94699191	2,78934593	2,69541098	2,73752704	2,75404485	2,77396087
N4	5,02521508	5,84561379	4,72319118	12,4379883	3,95644893	2,97975511	2,81329333	2,71928913	2,76633826	2,78594662	2,80632706
N5	5,0558023	5,9949462	4,90338878	12,1523964	4,02793637	3,05841202	2,88668477	2,79402168	2,86378504	2,88743895	2,91274031



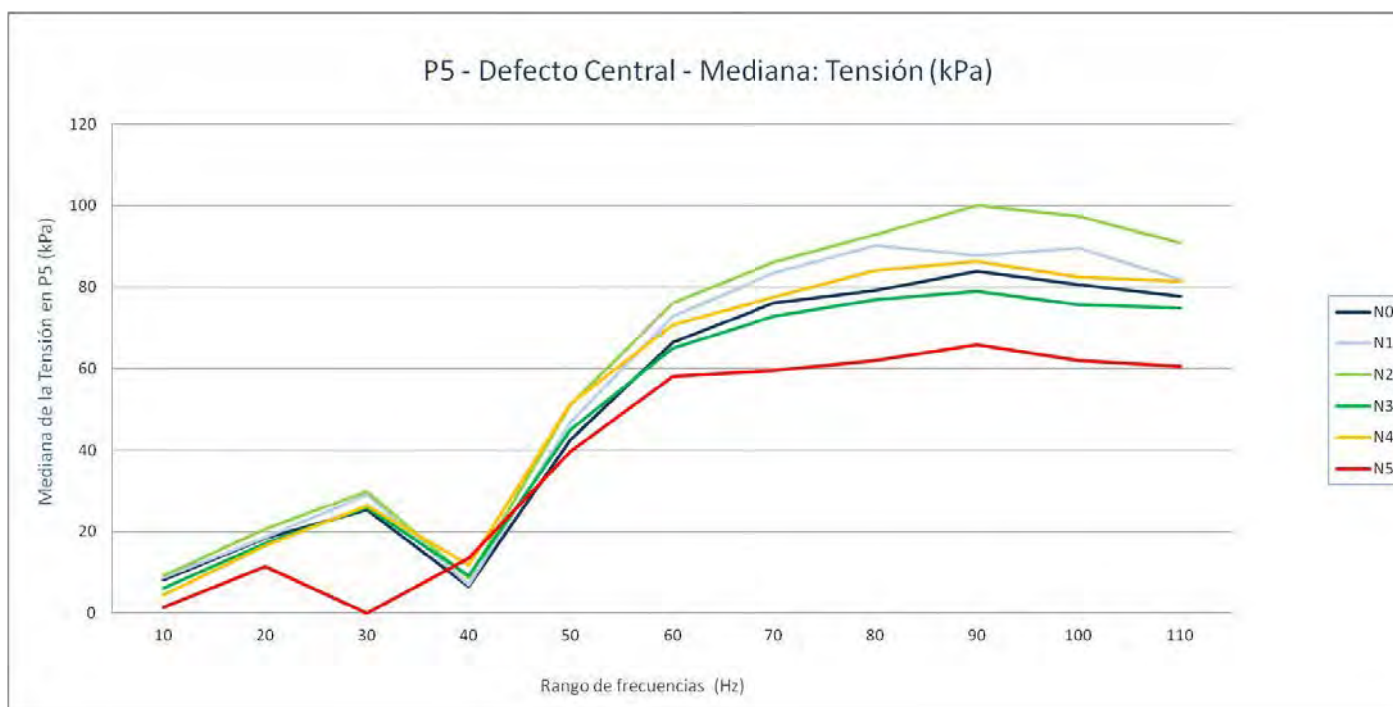
P5. Grieta central - Tensión (kPa): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	169,475052	164,390423	205,447297	64,2761285	324,925095	472,130736	532,553312	569,405993	573,38838	566,78679	552,47456
N1	177,889614	173,921014	219,025494	69,241361	348,497143	506,096844	570,492878	609,625952	611,388943	605,28227	589,169185
N2	183,171831	184,397369	235,32883	78,7113784	381,083237	549,341311	616,663048	656,898467	661,760055	650,483185	633,625025
N3	151,425659	146,698978	184,180621	75,2258248	306,60283	429,921344	477,170489	507,203917	510,083014	500,865724	489,045081
N4	133,156457	141,09077	186,697714	94,9441172	334,58271	458,467214	503,206002	531,722745	529,523016	518,995284	503,338089
N5	93,6123844	93,273898	0,00381089	90,7471953	253,858165	333,461527	356,582941	372,778	373,490705	366,708775	368,276291



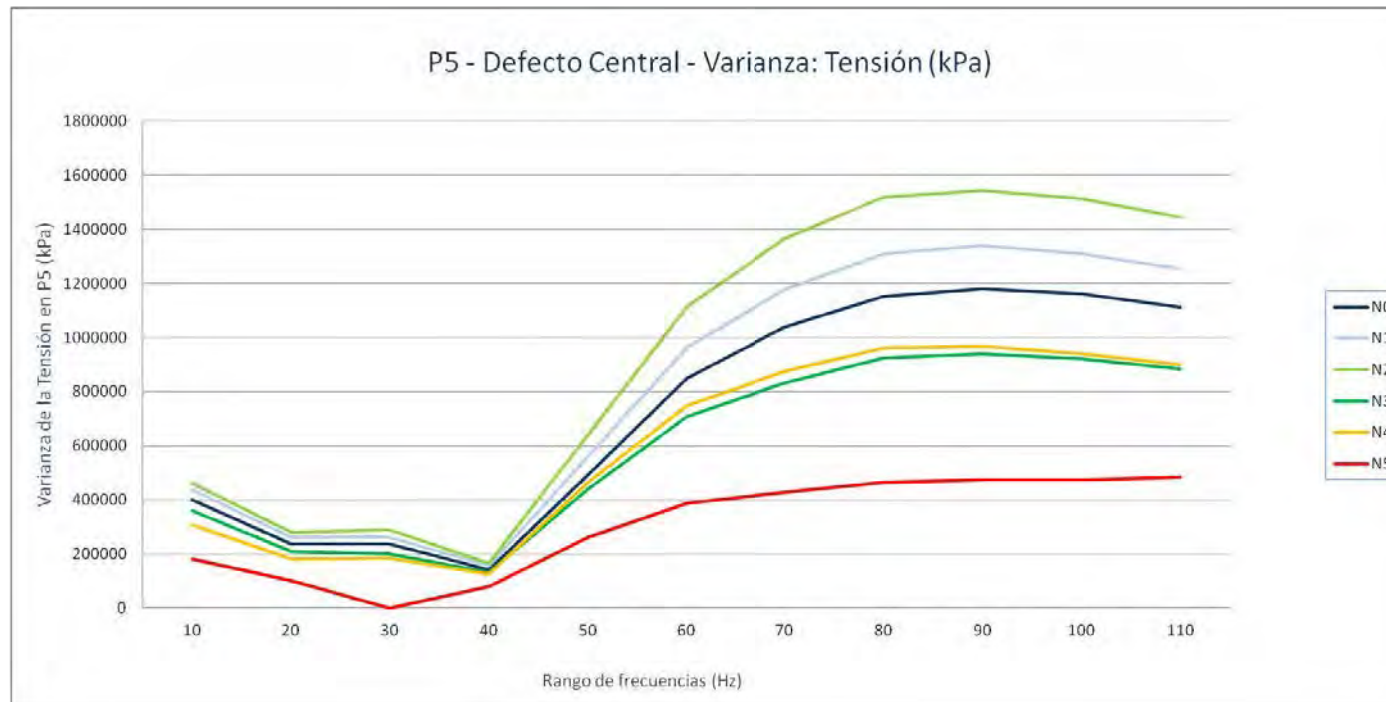
P5. Grieta central - Tensión (kPa): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	8,206222057	18,31184006	25,37557983	6,611382008	42,56514359	66,51675034	76,05964279	79,21395493	83,86999893	80,60536194	77,6652565
N1	8,675713062	18,63799	28,94085979	7,027752638	46,92470551	72,86112213	83,38940048	90,23007965	87,84173965	89,68962479	81,81098557
N2	9,195475578	20,66219425	29,88109016	8,50963974	51,24632072	76,20680618	86,24871445	92,80282974	100,1272507	97,39015198	90,80112839
N3	6,214615583	17,22119522	26,0597353	9,106571198	45,07143593	65,11087418	72,7910347	77,00809097	78,99169159	75,69960022	74,95344162
N4	4,521545887	16,59914017	26,28980064	11,93778038	51,32695007	70,75866699	77,59459686	84,17433167	86,35173035	82,44220734	81,45243835
N5	1,421154976	11,5228796	0,001897219	13,39731026	39,60029984	58,00474167	59,48796844	61,97084045	65,92411804	61,91571045	60,59936142



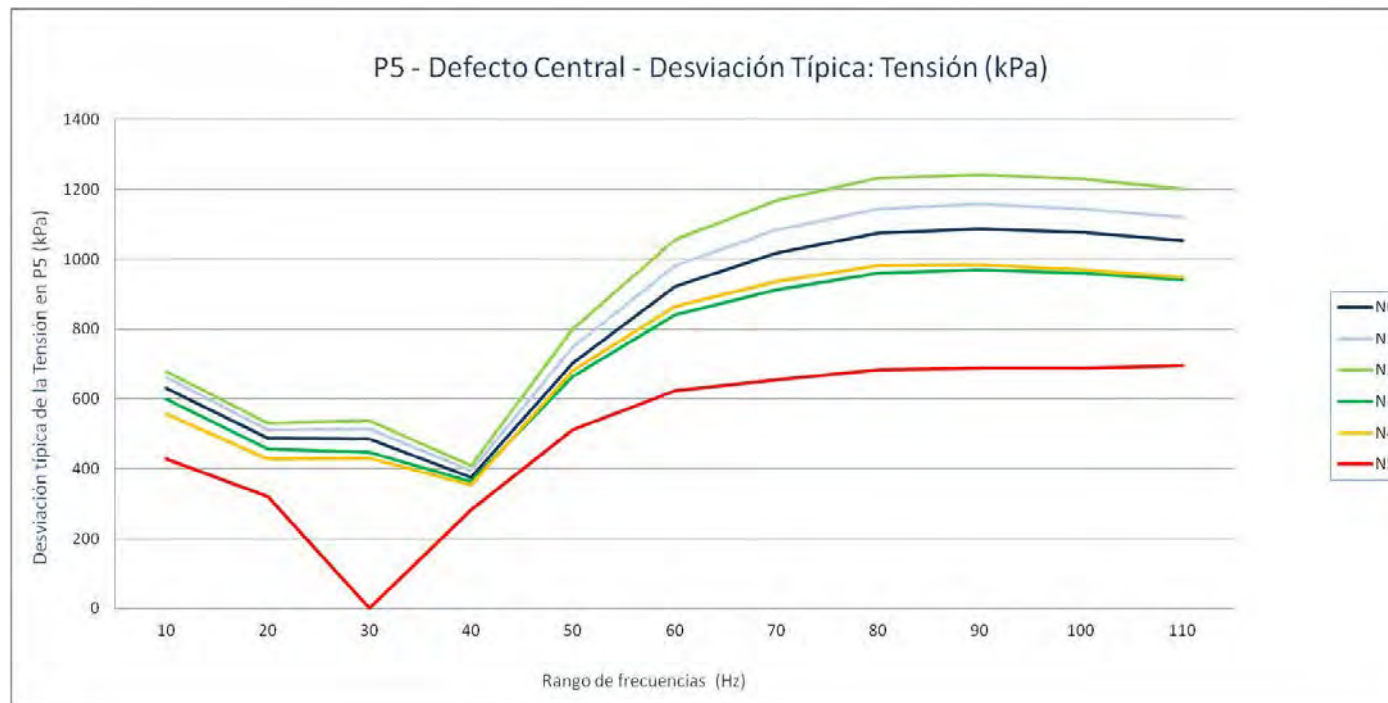
P5. Grieta central - Tensión (kPa): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	399035,459	238153,306	235736,283	140361,629	493792,849	849646,827	1037702,33	1153483,58	1180882,95	1159940,2	1111330,12
N1	437905,67	262793,835	262851,17	155500,472	560861,498	964981,099	1177662,62	1309428,39	1340298,6	1310715,31	1253946,56
N2	462182,018	281167,824	289970,707	167404,39	639335,727	1114659,2	1366052,24	1518366,85	1544302,49	1512487,63	1443917,45
N3	359078,696	208720,968	199733,23	131915,627	441133,283	708305,274	831851,972	923198,183	939707,398	922511,682	884410,375
N4	309262,678	182099,054	185733,392	124717,005	464550,629	749941,988	876364,013	961950,303	968522,821	940875,721	898519,04
N5	183107,784	102192,72	3,4122E-05	79260,9451	261617,246	387713,614	428324,803	466205,114	473518,342	474609,504	484649,175



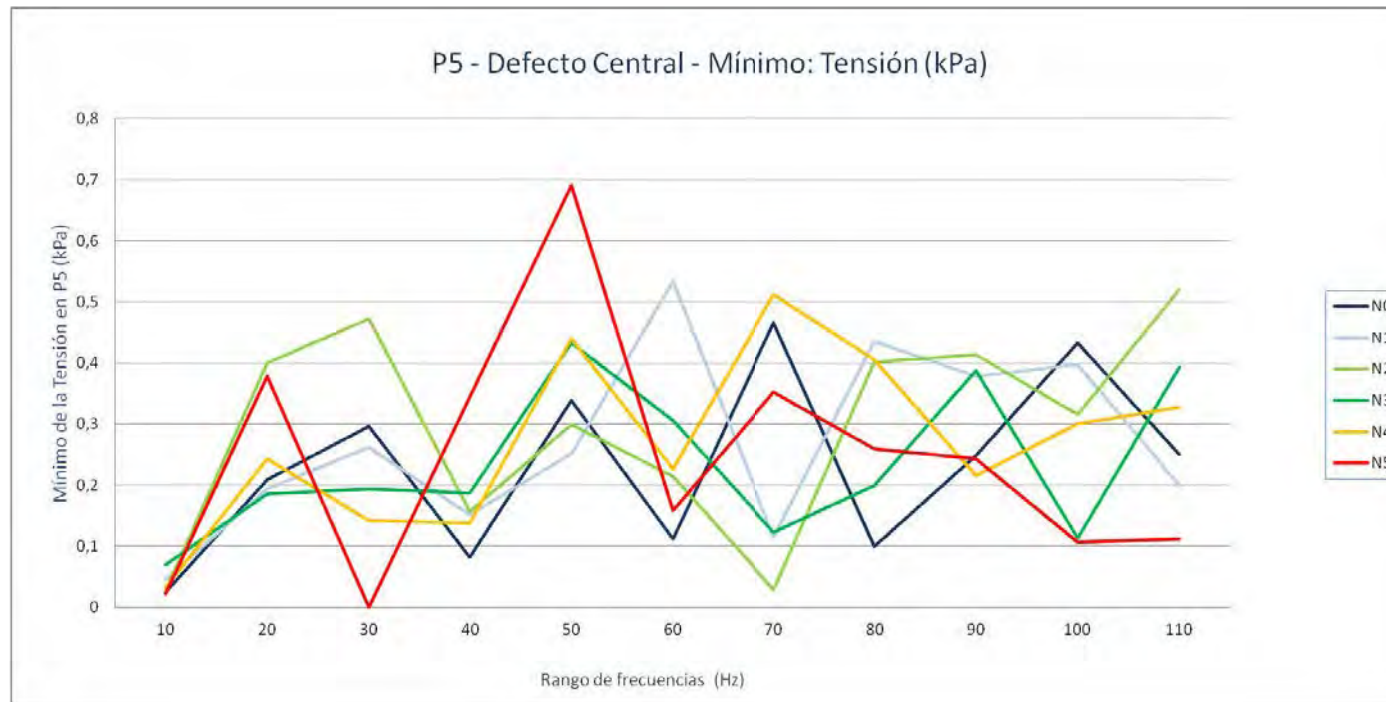
P5. Grieta central - Tensión (kPa): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	631,6925353	488,0095343	485,5268101	374,6486744	702,7039558	921,7628909	1018,676753	1074,00353	1086,684385	1077,005199	1054,196432
N1	661,7444146	512,6342113	512,6901302	394,3354822	748,9068686	982,3345149	1085,20165	1144,30258	1157,71266	1144,864755	1119,797553
N2	679,8397001	530,2526038	538,4892821	409,1508159	799,5847216	1055,77422	1168,782375	1232,220294	1242,699677	1229,832357	1201,63116
N3	599,2317548	456,8598999	446,9152379	363,2019094	664,1786533	841,6087415	912,0591935	960,8320263	969,3850618	960,474717	940,4309517
N4	556,1139074	426,7306576	430,9679709	353,1529479	681,5795105	865,9919097	936,1431586	980,7906518	984,1355703	969,987485	947,9024423
N5	427,9109536	319,6759616	0,00584144	281,5332042	511,485333	622,6665348	654,4652805	682,7921459	688,1266906	688,9190835	696,1674907



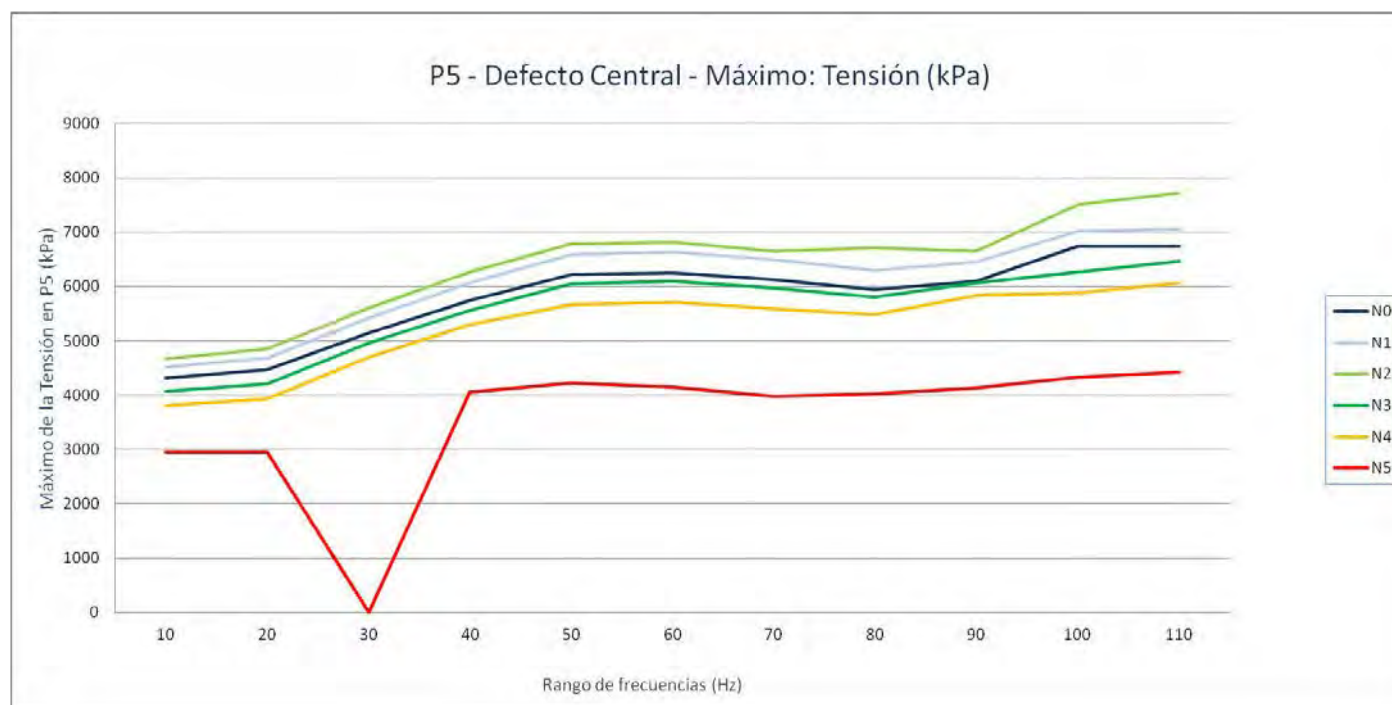
P5. Grieta central - Tensión (kPa): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,02443558	0,2094799	0,29626879	0,08162854	0,33836779	0,1118846	0,4660801	0,1004019	0,2484087	0,43273121	0,2493438
N1	0,04491048	0,1940708	0,26199391	0,15183	0,2512725	0,5339635	0,1151288	0,43559831	0,37825859	0,39725429	0,1990668
N2	0,02744529	0,40060091	0,47189379	0,1578631	0,2995722	0,21412811	0,02931524	0,40085581	0,41406909	0,3155615	0,52006829
N3	0,06977322	0,1854541	0,193819	0,18750951	0,4331764	0,3065263	0,123635	0,19921391	0,38752481	0,1132142	0,39370939
N4	0,03268096	0,2428185	0,1427806	0,13800851	0,43961459	0,2262027	0,51190311	0,40527749	0,21601281	0,30022189	0,3279663
N5	0,02145172	0,3781293	2,5942E-05	0,34380251	0,69131011	0,1589485	0,35259181	0,2594561	0,2424812	0,1067016	0,1125248



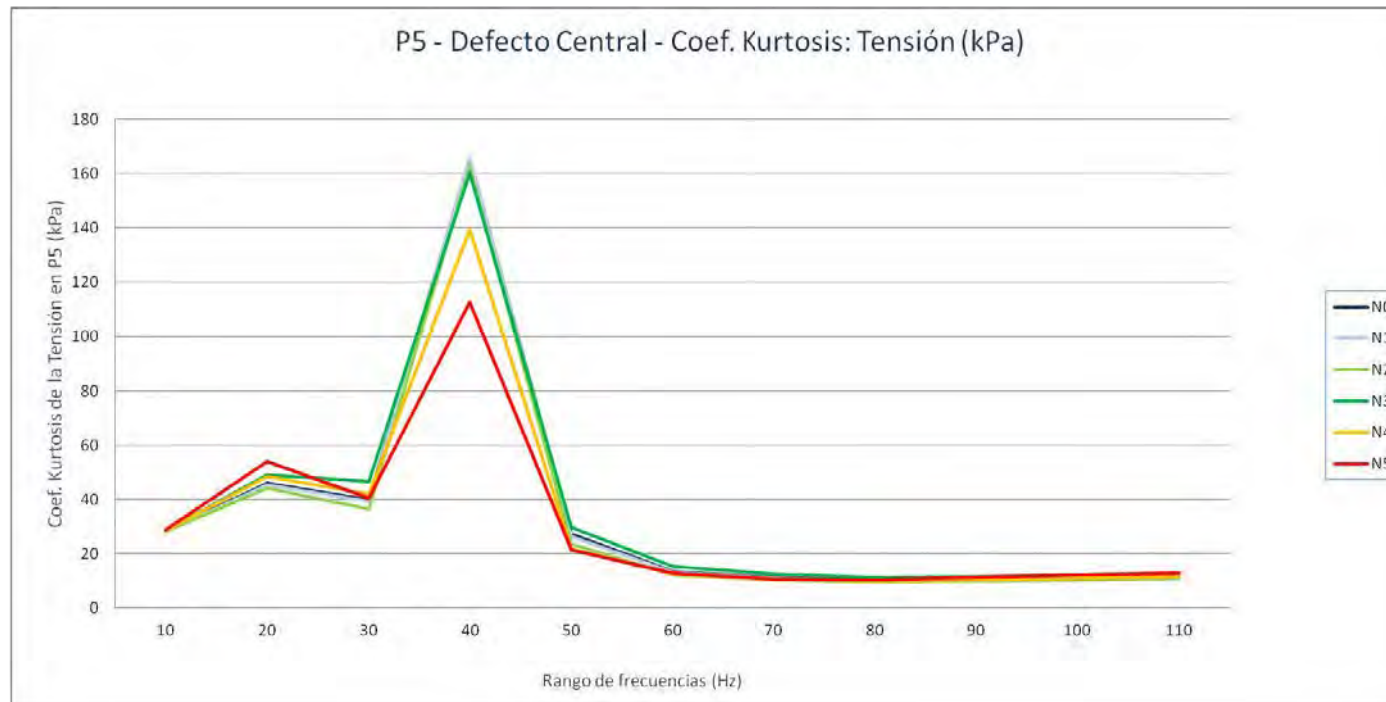
P5. Grieta central - Tensión (kPa): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	4319,1709	4469,49316	5144,91211	5747,35205	6224,02393	6255,13184	6131,06201	5946,2832	6092,43994	6740,74512	6744,12109
N1	4520,37012	4681,02686	5416,59814	6072,57324	6591,19678	6634,55322	6497,27197	6303,81787	6448,80322	7024,11719	7069,74023
N2	4667,11719	4846,8291	5610,91113	6264,91309	6792,28076	6812,18115	6648,12988	6707,82813	6652,26807	7513,98779	7724,60693
N3	4067,07593	4207,01807	4960,01514	5557,45313	6053,76807	6093,67285	5970,66406	5806,521	6071,22705	6263,02881	6467,62402
N4	3814,83398	3931,17993	4699,41504	5298,95215	5670,51514	5716,16309	5590,44678	5475,95801	5838,45605	5875,79492	6070,17676
N5	2943,38794	2951,1709	0,06354588	4050,81201	4221,15479	4152,04004	3971,35791	4025,16992	4130,82324	4338,43604	4431,75



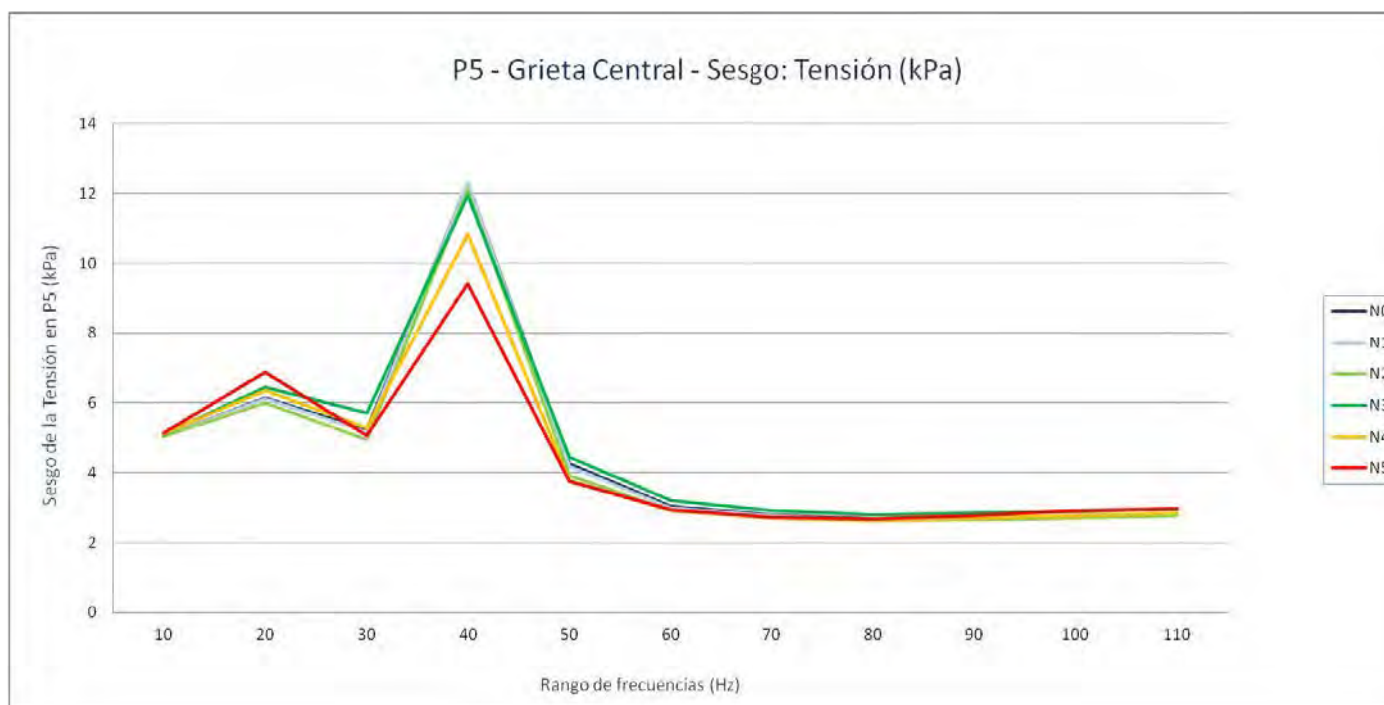
P5. Grieta central - Tensión (kPa): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	28,1593054	45,8991014	39,9829687	165,662194	27,4454136	13,4780742	11,1875778	10,2662573	10,3357794	10,7668176	11,2890191
N1	28,1283377	45,4399253	39,1388889	166,066801	26,5238069	13,1457322	10,9374429	10,0592973	10,1385786	10,5664387	11,0676349
N2	28,1738082	44,3363259	36,4481856	162,393479	23,5407748	12,2894613	10,5600323	9,8764478	10,0743939	10,4880974	10,9984772
N3	28,4220415	49,1805779	46,7987785	160,149664	29,8290216	15,4195366	12,5731432	11,4599169	11,7266211	12,2618878	12,9513836
N4	28,6690769	48,3514399	41,9076194	139,292374	21,8021996	12,4453354	10,6701376	10,0929126	10,4921798	11,0630212	11,7097373
N5	28,7168724	53,8983671	40,4226897	112,756061	21,3619714	12,8521883	10,8340443	10,3915756	11,2730549	12,3477207	12,7272188



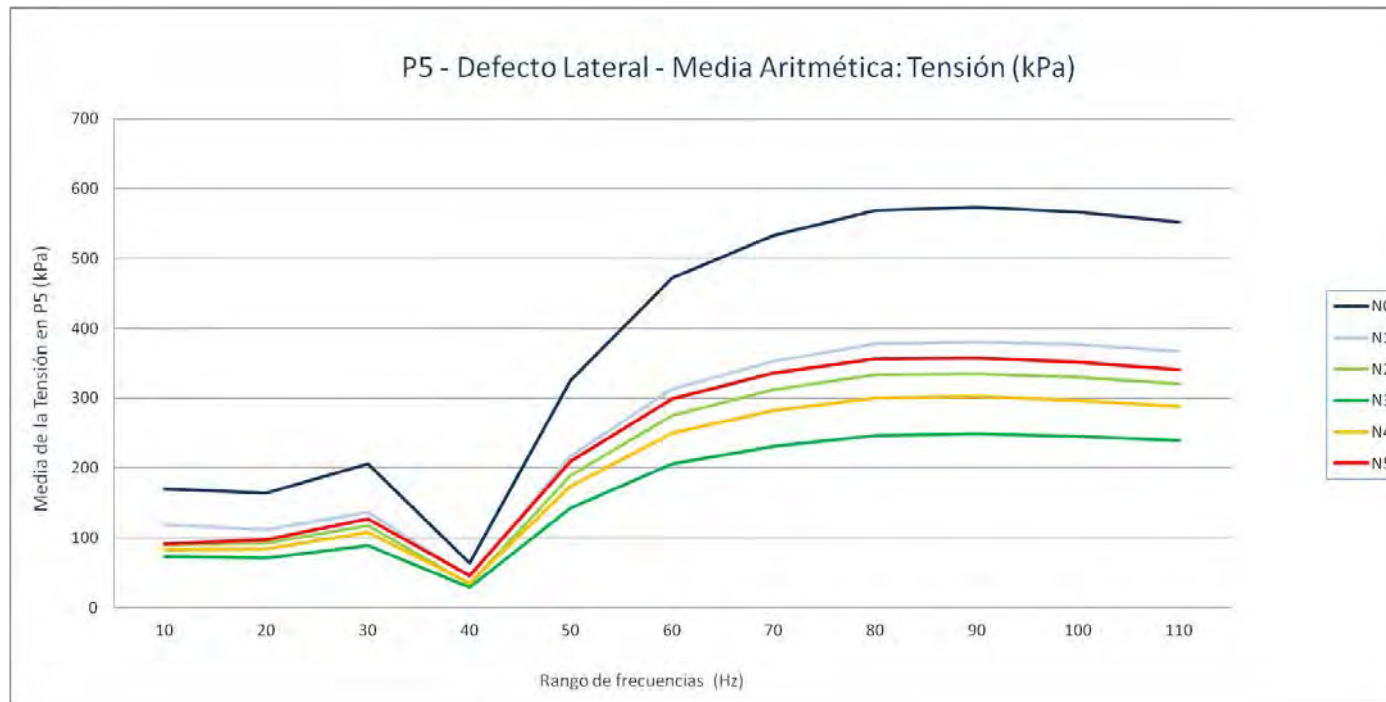
P5. Grieta central - Tensión (kPa): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,04490283	6,15042144	5,22857865	12,3006577	4,26063942	3,03518542	2,79279129	2,68046445	2,69391622	2,74114381	2,80120419
N1	5,04160631	6,10777008	5,15374539	12,295972	4,17666378	2,99667215	2,76271755	2,65541222	2,6692626	2,71719105	2,77192955
N2	5,04449991	6,00378506	4,93601936	12,0941327	3,9319071	2,91177873	2,72129314	2,63268475	2,65923726	2,70768086	2,7641595
N3	5,08774608	6,44872884	5,71299084	11,9456415	4,44179851	3,21269759	2,92496616	2,80598919	2,84538756	2,90009982	2,97202164
N4	5,11918585	6,36483949	5,29399128	10,810622	3,76856191	2,90614554	2,71287142	2,64113885	2,69469265	2,7681097	2,8373961
N5	5,13276317	6,89018535	5,07145847	9,40667501	3,74482029	2,93751645	2,71737996	2,67700391	2,77699829	2,91861936	2,96811821



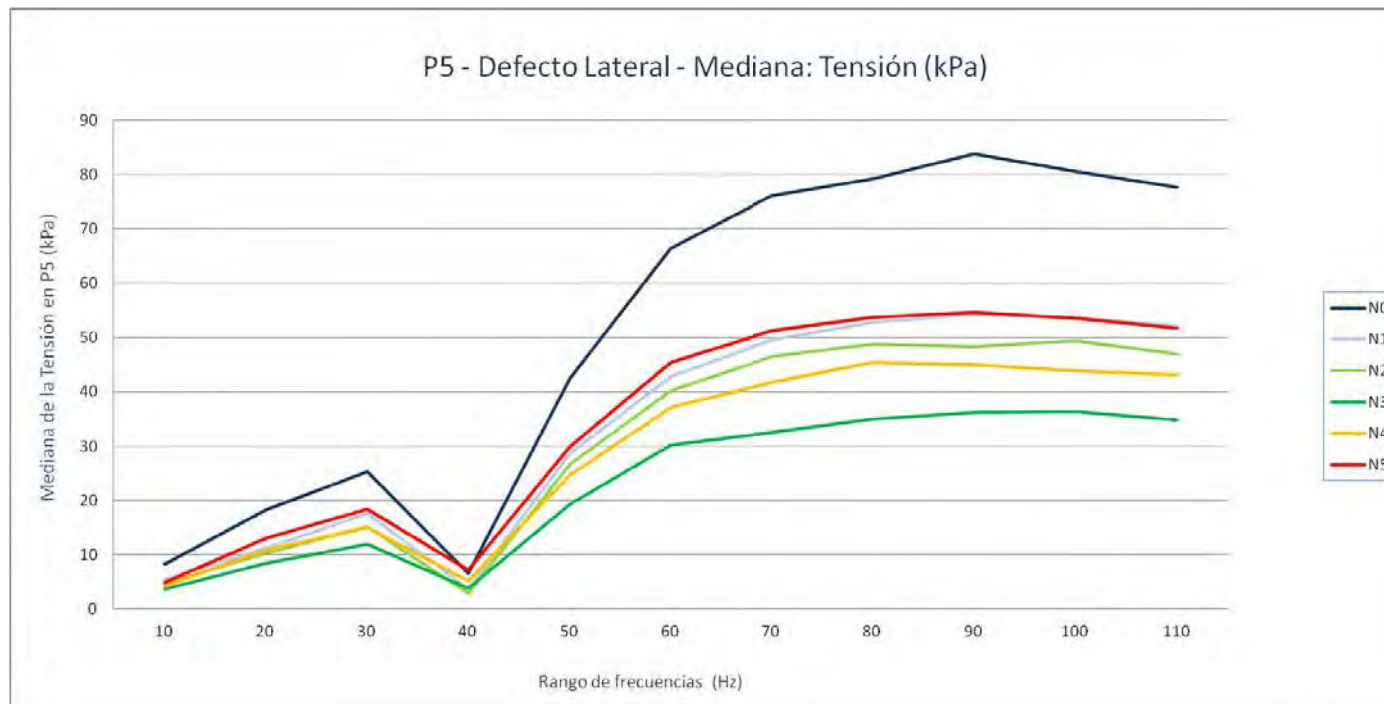
P5. Grieta lateral - Tensión (kPa): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	169,475052	164,390423	205,447297	64,2761285	324,925095	472,130736	532,553312	569,405993	573,38838	566,78679	552,47456
N1	118,605523	111,075315	137,070651	43,5317504	216,888376	313,48269	352,56551	377,732949	380,415001	376,925062	366,801412
N2	90,2860517	91,803336	117,680421	34,0464827	188,709393	275,390121	311,878396	333,437366	335,297963	329,908957	320,834834
N3	73,061412	71,4219891	89,2211704	28,6210679	141,942247	205,354606	231,075811	246,593829	248,565506	245,446795	238,714769
N4	82,2663124	84,4024418	107,372156	35,1496249	173,14538	250,110959	281,785914	300,1593	302,231518	297,010306	288,674123
N5	90,9158899	97,5027622	126,553403	46,0756798	208,945857	299,095461	335,563522	356,091939	357,378606	350,943455	340,211467



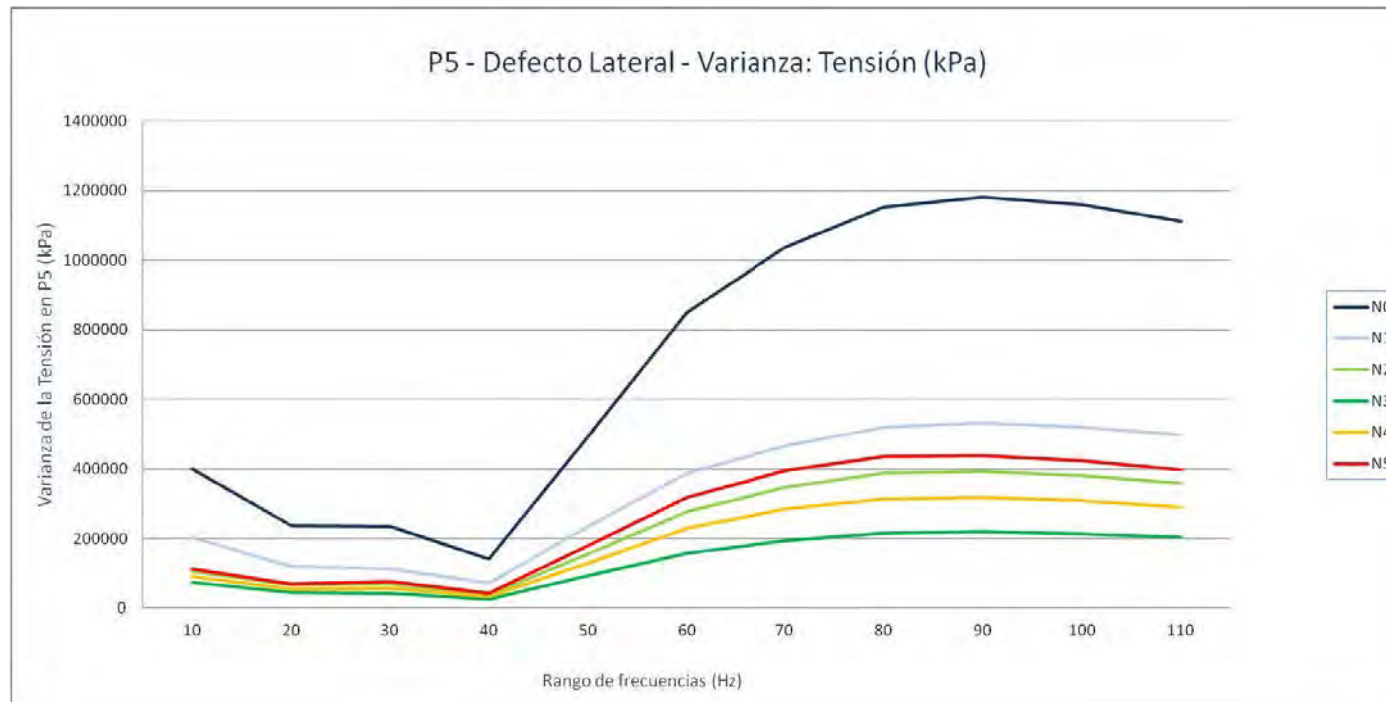
P5. Grieta lateral - Tensión (kPa): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	8,206222057	18,31184006	25,37557983	6,611382008	42,56514359	66,51675034	76,05964279	79,21395493	83,86999893	80,60536194	77,6652565
N1	5,472146034	11,19913483	17,69197464	3,666833997	28,70060062	42,84078979	49,60386467	52,77795982	54,37681961	53,52573967	52,11708069
N2	4,810486555	10,20828009	15,25195503	2,895116448	26,6794405	40,20505524	46,48541451	48,76267052	48,31691933	49,41431427	46,99265862
N3	3,593438506	8,414288044	11,94843006	3,814193487	19,35421467	30,24940014	32,59119034	35,00990486	36,2107563	36,36961937	34,86855507
N4	4,289087772	10,81013012	14,95016003	5,230360031	24,6300106	37,18671036	41,73875046	45,43574905	45,02394104	43,91902924	43,16561127
N5	4,819563389	13,04750967	18,42108059	7,126167059	29,94165993	45,46021461	51,2094841	53,65153503	54,55751038	53,48736954	51,75895119



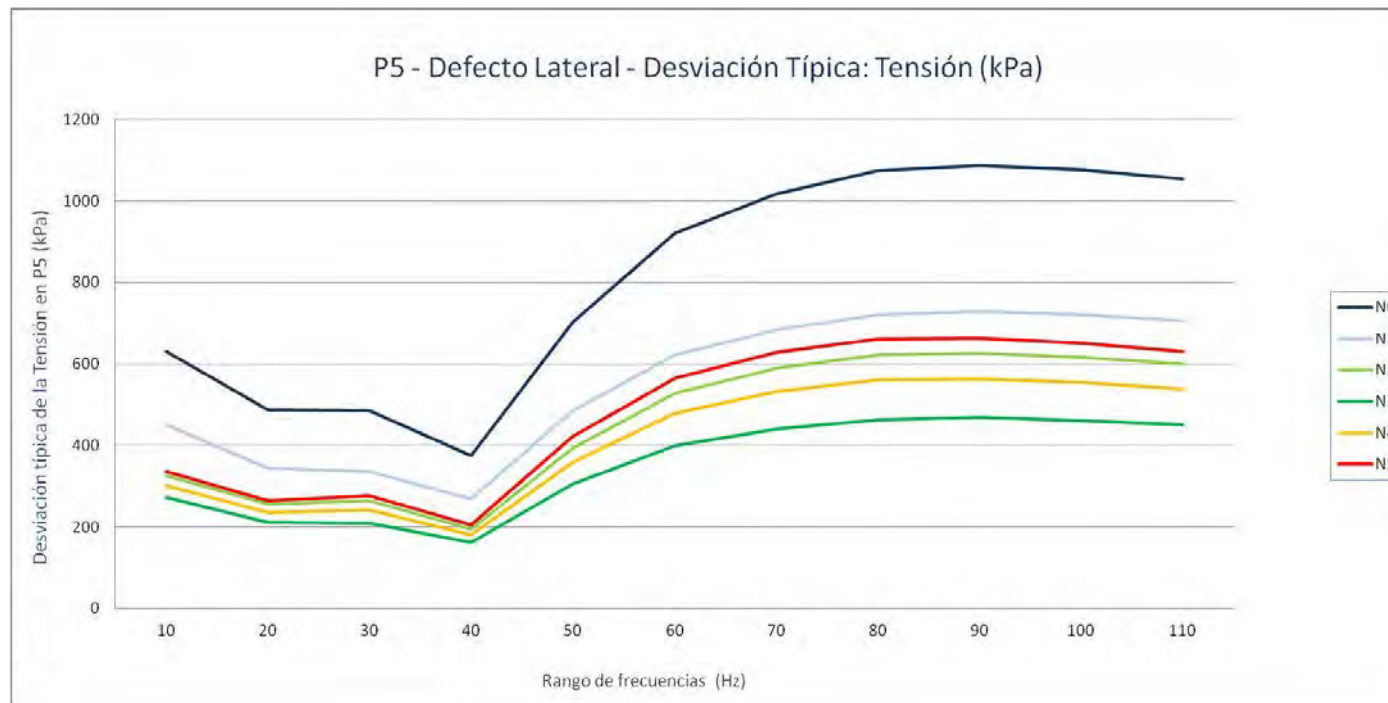
P5. Grieta lateral - Tensión (kPa): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	399035,459	238153,306	235736,283	140361,629	493792,849	849646,827	1037702,33	1153483,58	1180882,95	1159940,2	1111330,12
N1	203465,748	119131,699	113430,186	71609,2466	234719,199	388488,315	467655,609	520366,982	533061,029	520608,098	497830,37
N2	106057,76	65930,0077	70094,0243	38263,736	154714,594	278290,23	347372,514	387057,524	393322,676	380401,34	359141,986
N3	74738,813	44480,6754	43959,3743	26280,4694	93074,5981	159076,287	194588,221	215202,131	219182,075	213342,363	202601,74
N4	91121,6085	55811,2293	58375,9688	32774,1554	129110,873	228923,331	284060,021	313897,266	317806,797	307825,207	290617,779
N5	112746,282	70265,6875	76681,4223	42017,1817	178661,008	319664,765	396432,974	436329,44	439539,926	423430,85	398384,772



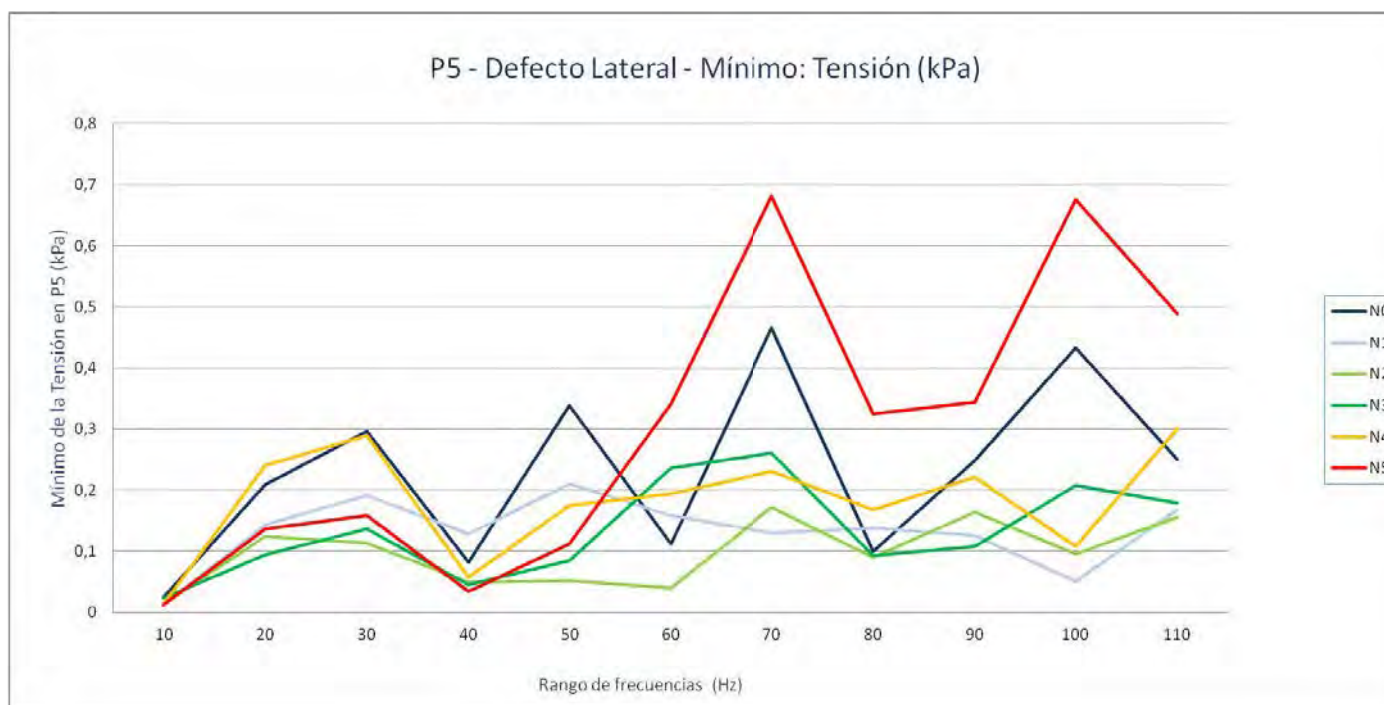
P5. Grieta lateral - Tensión (kPa): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	631,6925353	488,0095343	485,5268101	374,6486744	702,7039558	921,7628909	1018,676753	1074,00353	1086,684385	1077,005199	1054,196432
N1	451,0717775	345,1546017	336,793982	267,5990407	484,4782755	623,2883081	683,8534994	721,3646661	730,1102853	721,5317719	705,5709535
N2	325,6651037	256,768393	264,7527607	195,6111857	393,3377602	527,5322073	589,3831636	622,1394734	627,1544275	616,7668445	599,2845619
N3	273,3840029	210,9044225	209,6649095	162,1125209	305,0812975	398,8436876	441,1215485	463,8988375	468,1688528	461,8899903	450,1130306
N4	301,8635595	236,2440037	241,6111934	181,0363373	359,3200146	478,4593302	532,9728141	560,2653532	563,7435562	554,8199771	539,0897685
N5	335,7771311	265,0767577	276,9141063	204,98093	422,683106	565,3890383	629,6292353	660,5523751	662,9780733	650,7156446	631,1772901



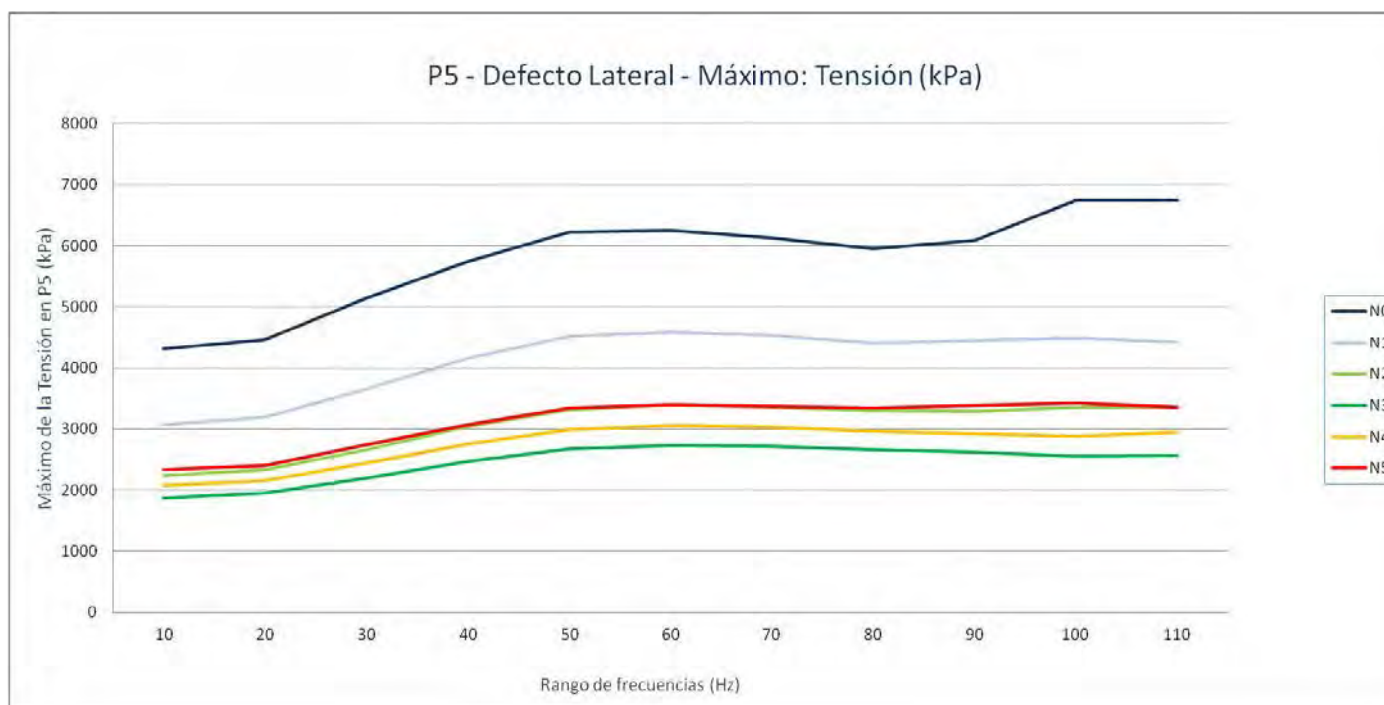
P5. Grieta lateral - Tensión (kPa): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,02443558	0,2094799	0,29626879	0,08162854	0,33836779	0,1118846	0,4660801	0,1004019	0,2484087	0,43273121	0,2493438
N1	0,01268424	0,14384089	0,1907461	0,12859911	0,2104684	0,1586974	0,130528	0,13858271	0,1252993	0,05111864	0,1678932
N2	0,01339122	0,1249201	0,114004	0,04875548	0,05225866	0,04050398	0,1722236	0,0908314	0,16394129	0,09584289	0,1564455
N3	0,02362409	0,09401448	0,13608479	0,0453444	0,08513398	0,2364521	0,26078001	0,09261674	0,1085725	0,20823351	0,17855459
N4	0,01343752	0,2402481	0,29000199	0,05768042	0,17511959	0,19347841	0,2308919	0,1674778	0,22195791	0,1082639	0,30012479
N5	0,01226071	0,13635869	0,15909541	0,034316	0,112159	0,3410944	0,6817373	0,32453161	0,3447974	0,6754114	0,48818281



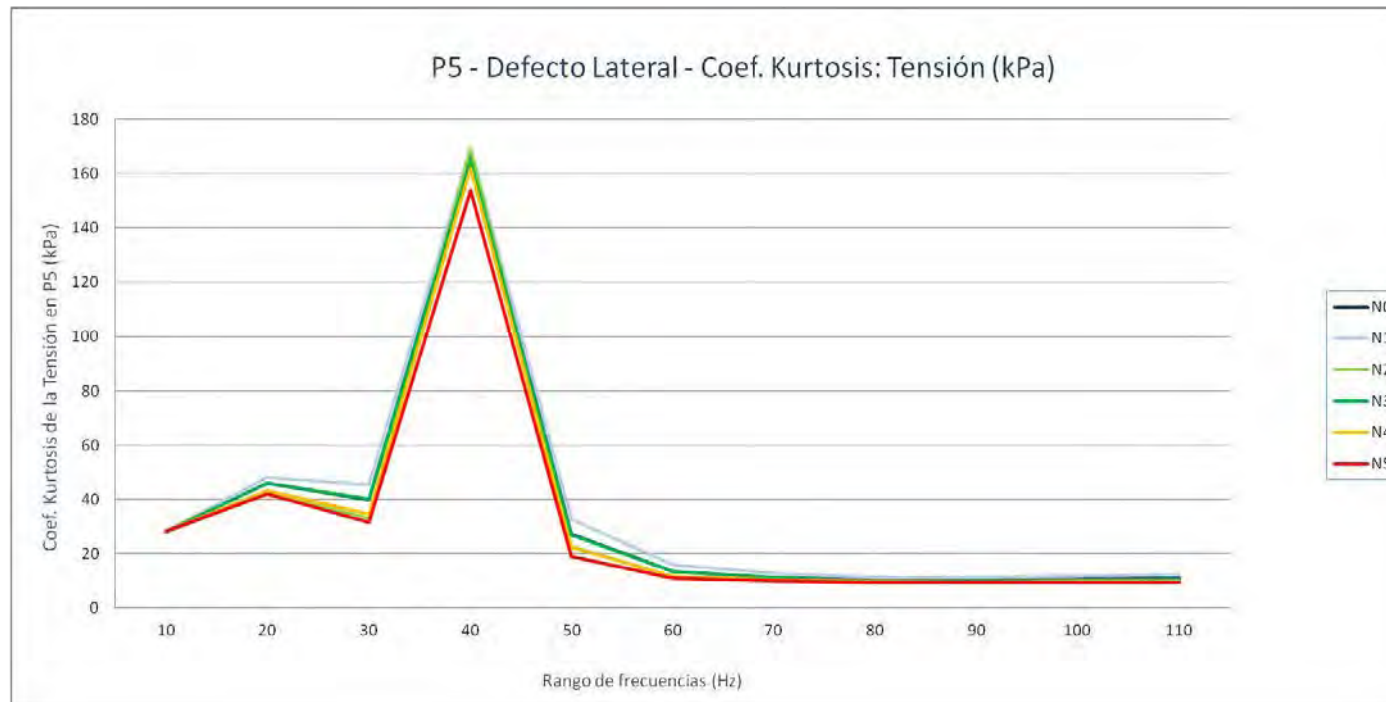
P5. Grieta lateral - Tensión (kPa): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	4319,1709	4469,49316	5144,91211	5747,35205	6224,02393	6255,13184	6131,06201	5946,2832	6092,43994	6740,74512	6744,12109
N1	3072,13989	3197,44409	3662,08398	4159,84424	4516,93018	4590,3291	4530,9541	4413,86377	4453,16406	4487,88086	4423,9502
N2	2245,47705	2336,41992	2667,90405	3041,17505	3320,5769	3394,43091	3357,09302	3303,32007	3287,15088	3356,90698	3362,64111
N3	1875,31604	1949,229	2198,89307	2476,7019	2682,81104	2734,16309	2719,84399	2660,47998	2616,81812	2550,271	2574,16309
N4	2082,31104	2157,48291	2449,25391	2753,69897	2994,12012	3053,93604	3034,61597	2967,8689	2921,25488	2878,85303	2947,45093
N5	2330,06396	2400,49902	2743,96802	3068,15088	3340,55103	3404,07007	3379,83105	3341,62891	3384,24194	3420,97412	3362,48901



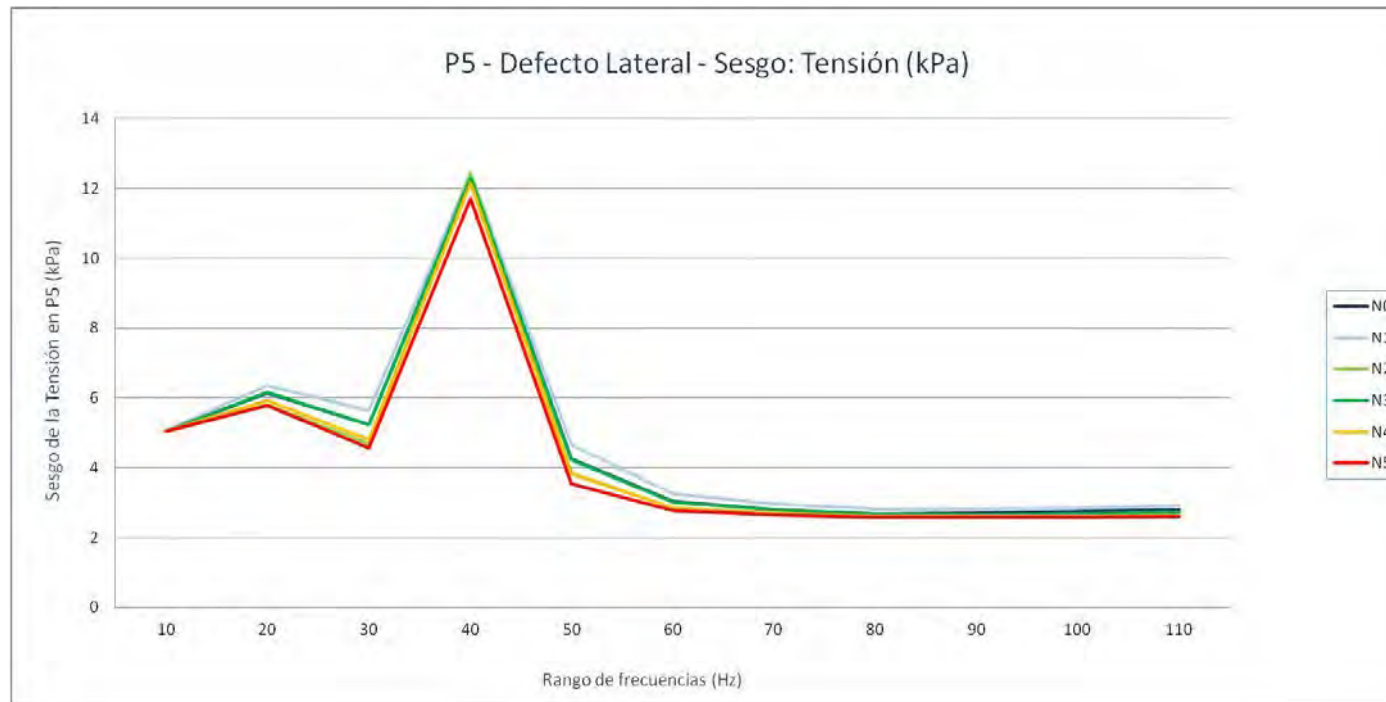
P5. Grieta lateral - Tensión (kPa): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	28,1593054	45,8991014	39,9829687	165,662194	27,4454136	13,4780742	11,1875778	10,2662573	10,3357794	10,7668176	11,2890191
N1	28,2062283	48,0599569	45,3149826	169,093423	32,6869967	15,8744899	12,788409	11,4728202	11,4512681	11,8205762	12,2814571
N2	27,9526136	42,3378589	33,1602888	169,006263	22,6262027	11,7072457	10,226823	9,52204692	9,50982307	9,61920544	9,79432386
N3	28,1633298	46,0385442	40,1259368	164,600017	27,0630619	13,4255662	11,2376068	10,2397621	10,1223296	10,2979492	10,5774187
N4	28,0917019	43,4023161	34,6369967	162,245052	22,325528	11,7842456	10,3730912	9,67372588	9,6157828	9,70218153	9,87315536
N5	28,1642236	42,007303	31,5780692	153,940334	18,9673626	10,9338614	10,040171	9,50391187	9,46441694	9,52695594	9,63429171



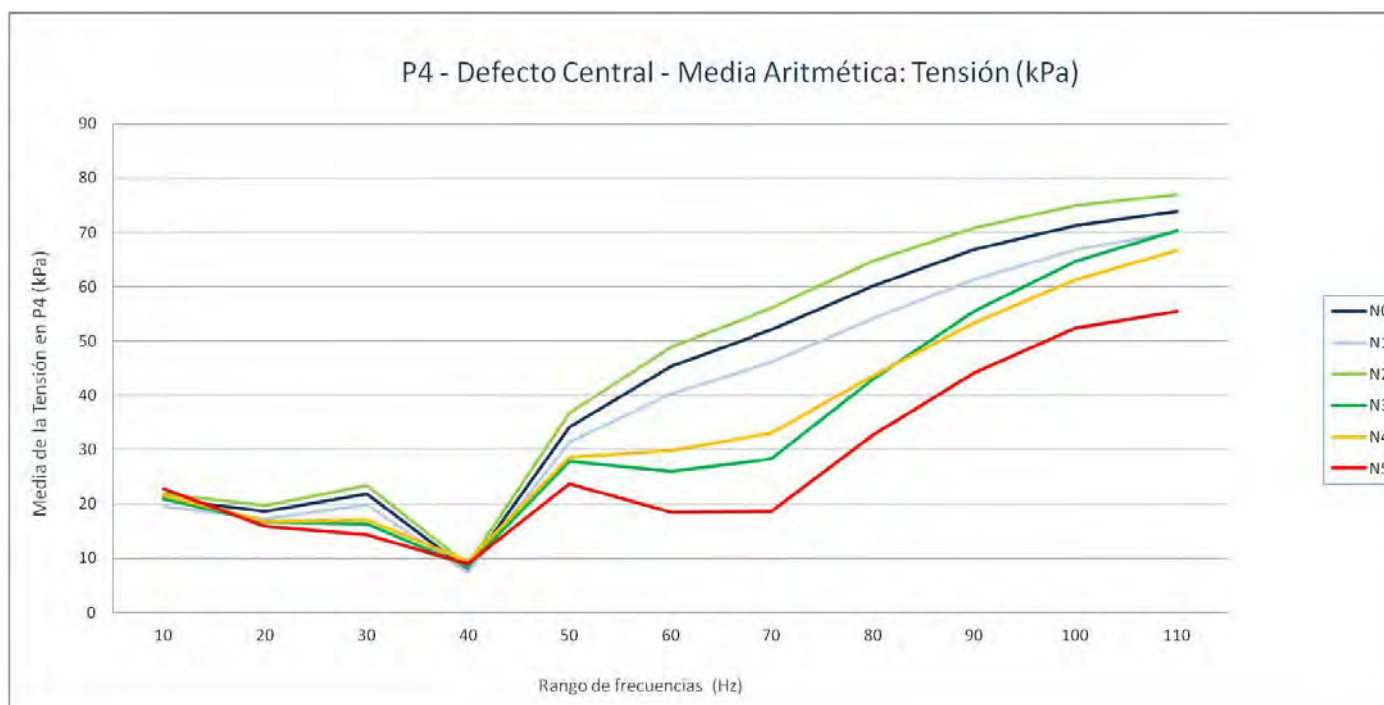
P5. Grieta lateral - Tensión (kPa): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,04490283	6,15042144	5,22857865	12,3006577	4,26063942	3,03518542	2,79279129	2,68046445	2,69391622	2,74114381	2,80120419
N1	5,05679557	6,34946873	5,63999904	12,4538484	4,67191267	3,26139037	2,95501663	2,81232947	2,81872836	2,85528571	2,90825906
N2	5,01367211	5,8175993	4,68139845	12,4373437	3,840297	2,84434063	2,68392329	2,59201869	2,59342032	2,60381194	2,62395995
N3	5,04728542	6,16427531	5,24505422	12,3003493	4,22434659	3,02282206	2,79448456	2,67362146	2,66413283	2,68547591	2,71790409
N4	5,03311384	5,91970256	4,80627715	12,1591577	3,82638613	2,856326	2,70183236	2,60944867	2,60397279	2,61471587	2,63580963
N5	5,04106819	5,79119373	4,55471693	11,7168422	3,53476525	2,76457526	2,66256591	2,58630969	2,58181414	2,59016488	2,60458081



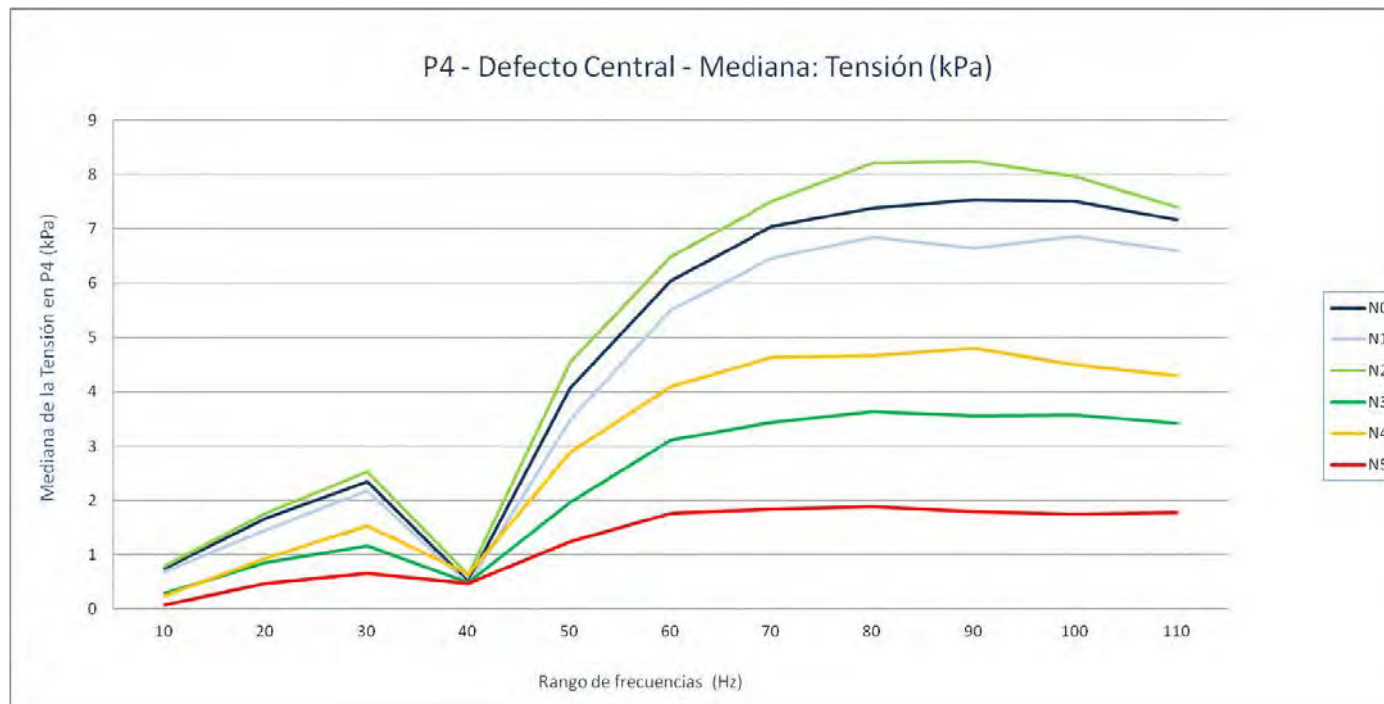
P4. Grieta central - Tensión (kPa): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	20,8888552	18,5759537	21,8689384	7,93186174	34,0834671	45,3442804	52,1387575	60,0072664	66,7994222	71,3199122	73,8911408
N1	19,5296597	17,2389684	19,8786868	7,49401718	31,3390186	40,2779787	46,0659019	54,048978	61,2531958	66,7783042	70,0898246
N2	21,8203609	19,7267913	23,37502	8,83872997	36,7744232	48,887588	56,137721	64,7155509	70,8469819	74,9448529	77,0313532
N3	20,9547622	16,6838806	16,2906167	8,49663489	27,8438503	26,045055	28,2640189	42,8169154	55,4267784	64,7380447	70,3233951
N4	21,4769478	16,7484115	17,0624593	9,39434313	28,5919269	29,9008219	33,0559097	43,4876533	53,289848	61,3228644	66,615591
N5	22,8108439	15,9350911	14,4081344	9,01556603	23,7596083	18,4710566	18,6053976	32,653428	44,053836	52,4447136	55,5517226



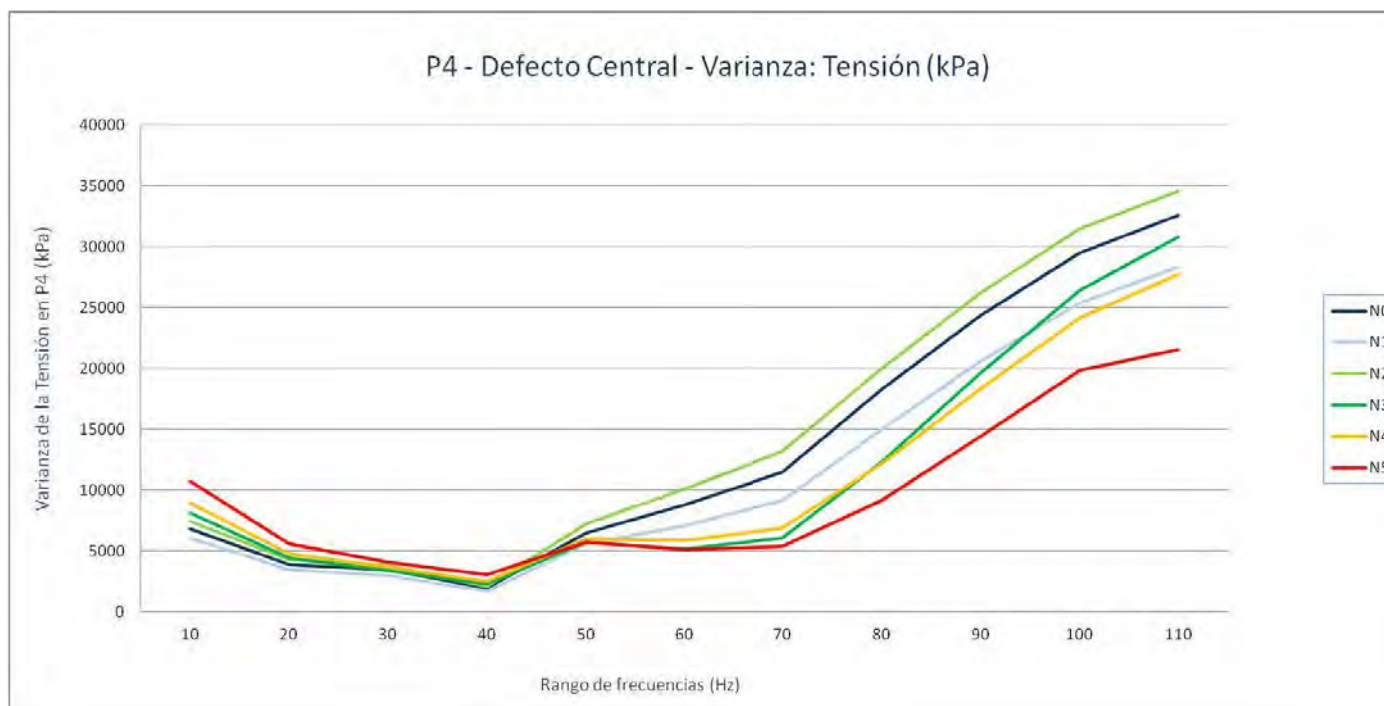
P4. Grieta central - Tensión (kPa): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,748658061	1,66889745	2,341809511	0,497833788	4,065975666	6,052768946	7,050605536	7,383175135	7,537899971	7,509604931	7,16990757
N1	0,684914351	1,459017456	2,17634356	0,463739946	3,48839891	5,510940313	6,466956377	6,849056482	6,64765048	6,857362032	6,600925446
N2	0,790719867	1,75968951	2,538339496	0,626213282	4,543470621	6,488303661	7,500724554	8,213780403	8,244502544	7,968873024	7,395102501
N3	0,2872352	0,854028136	1,161790013	0,484226555	1,967346013	3,120815992	3,440657496	3,636729956	3,564047456	3,569247484	3,415104985
N4	0,250282198	0,930123627	1,539749026	0,645906687	2,882872105	4,095306873	4,638688087	4,668476105	4,80281496	4,495872974	4,292537212
N5	0,069897413	0,47012189	0,652101517	0,473195612	1,243417978	1,761597991	1,838359952	1,888337016	1,792054057	1,745679021	1,775562048



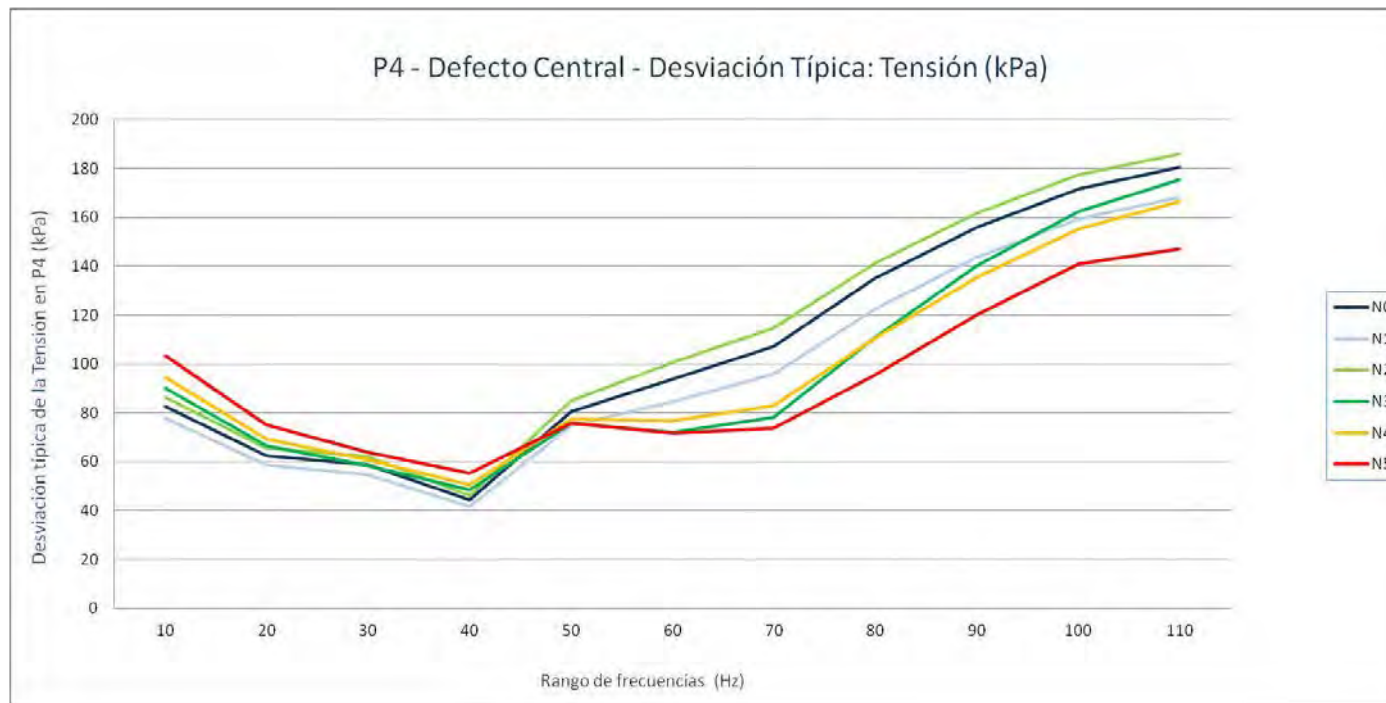
P4. Grieta central - Tensión (kPa): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	6819,74873	3914,75377	3463,56089	1966,1738	6470,57752	8810,10399	11508,3865	18244,2609	24369,9022	29491,8867	32559,74
N1	6056,34835	3458,24808	2993,1359	1739,01043	5614,13111	7149,44694	9196,88409	14991,2874	20629,9998	25409,3201	28335,5318
N2	7463,87808	4287,41131	3846,65643	2141,92159	7237,60181	10126,281	13178,5349	19999,9855	26203,193	31469,9039	34572,0567
N3	8147,65038	4429,41349	3403,87451	2350,49804	5754,06863	5173,20044	6121,75653	12315,8437	19675,9247	26401,6997	30814,1174
N4	8952,19054	4811,73121	3701,87741	2552,96903	6014,07526	5885,22474	6898,00589	12207,8634	18354,334	24134,8204	27722,3012
N5	10724,7858	5635,54575	4090,30269	3059,12641	5769,78847	5123,09022	5434,48472	9150,79108	14471,374	19844,4112	21591,0981



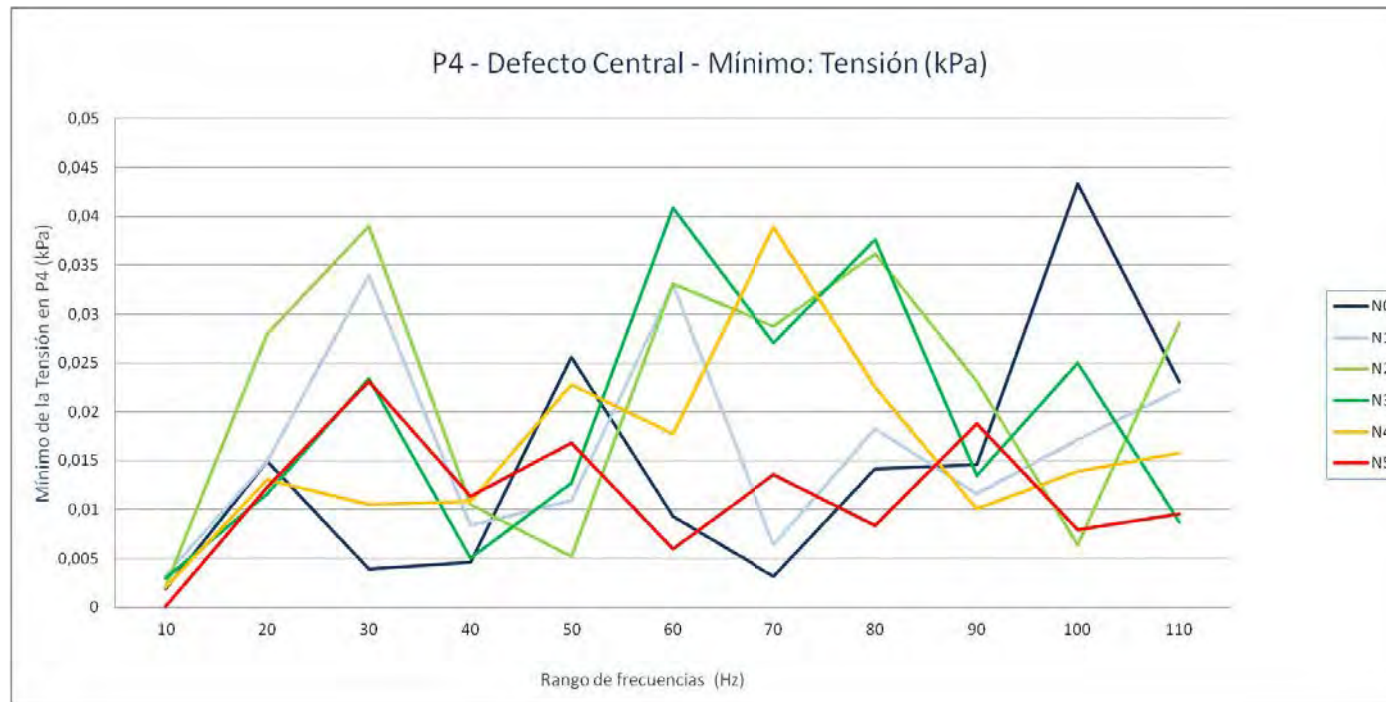
P4. Grieta central - Tensión (kPa): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	82,58176995	62,56799319	58,85202534	44,34155839	80,43990002	93,86215419	107,2771482	135,0713179	156,1086231	171,7320201	180,4431767
N1	77,82254396	58,80687103	54,70955946	41,70144394	74,92750569	84,55440225	95,90038629	122,4389127	143,631472	159,4030117	168,3316125
N2	86,39373868	65,47832704	62,02141915	46,28089877	85,07409598	100,6294243	114,7978001	141,4213051	161,8740034	177,3975872	185,9356251
N3	90,26433617	66,55383906	58,34273311	48,4819352	75,85557744	71,92496395	78,24165473	110,9767711	140,2708974	162,4859983	175,5395038
N4	94,61601631	69,36664332	60,84305554	50,52691393	77,55046911	76,71521842	83,05423464	110,4892005	135,4781679	155,3538554	166,5001537
N5	103,5605417	75,07027205	63,95547428	55,30936999	75,95912369	71,57576562	73,71895765	95,65976732	120,2970242	140,8701927	146,9390964



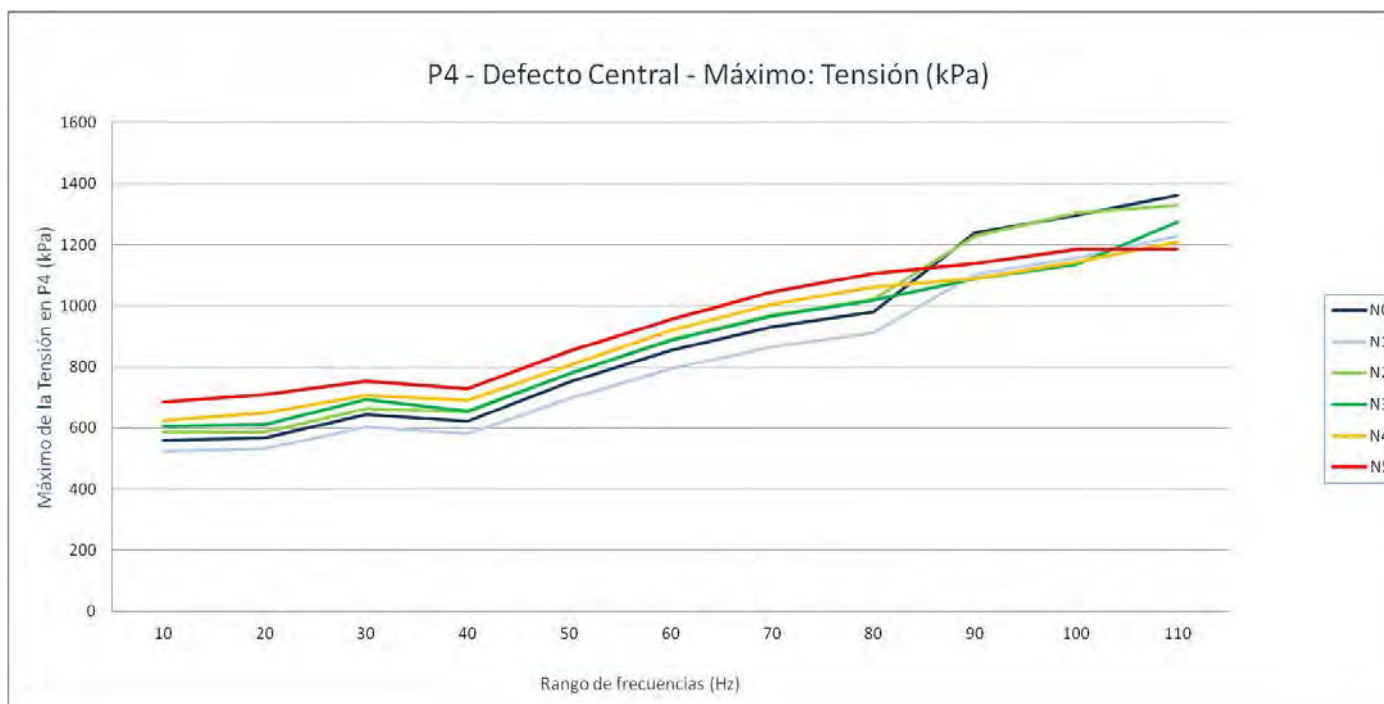
P4. Grieta central - Tensión (kPa): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00186168	0,01494694	0,00396553	0,00462578	0,02560181	0,0093431	0,00313133	0,01421336	0,01458822	0,04331836	0,02304066
N1	0,00324056	0,01496969	0,03393157	0,00839139	0,01096555	0,03300277	0,00640146	0,01823847	0,01160037	0,01719369	0,02223658
N2	0,00219021	0,02799918	0,03903432	0,01047812	0,00520296	0,03309645	0,02875018	0,03620181	0,02309891	0,00645288	0,02913154
N3	0,00300343	0,01163315	0,02338513	0,0050144	0,01269094	0,04090316	0,0270667	0,03759665	0,01353342	0,02503899	0,00871748
N4	0,00207113	0,01308258	0,01046767	0,01085681	0,02279858	0,01771818	0,03886572	0,02253835	0,01003902	0,01388176	0,01583185
N5	0,00014359	0,01231202	0,02309876	0,01136257	0,0168588	0,00599263	0,01358905	0,00839536	0,01877122	0,00792824	0,00954571



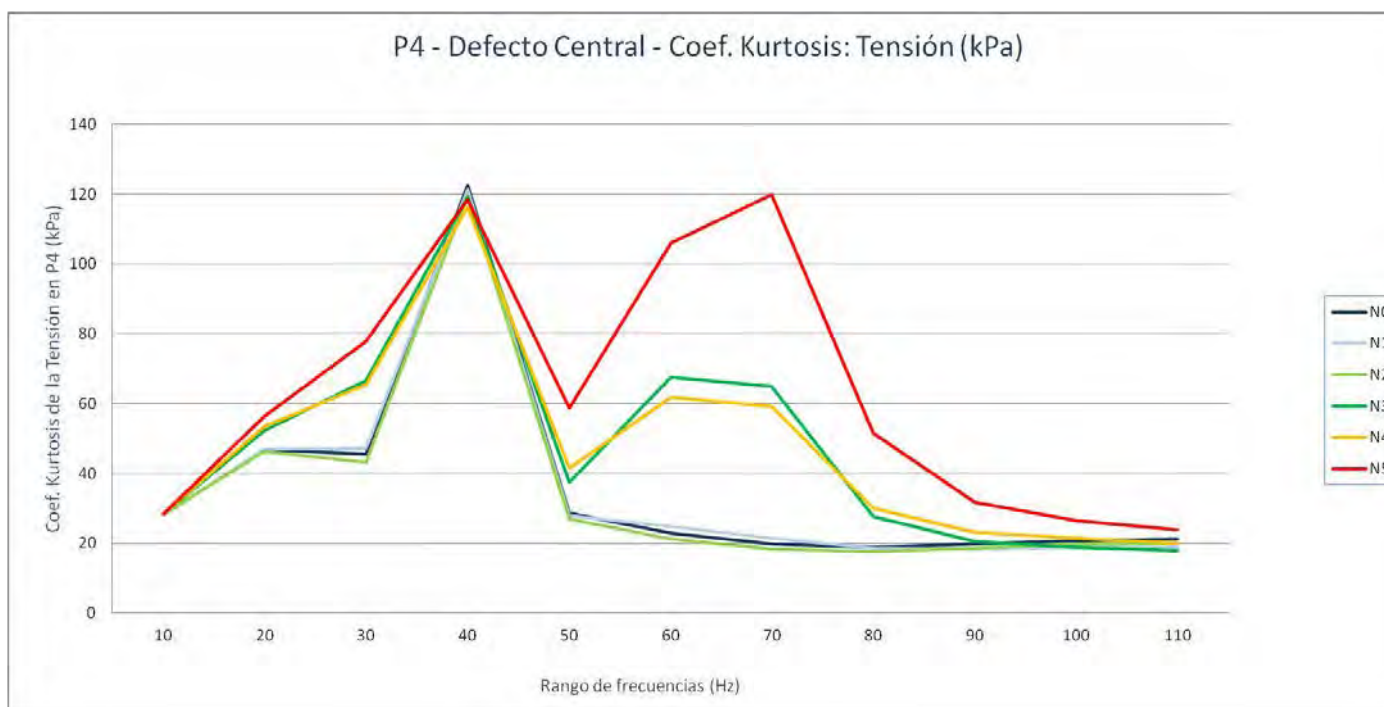
P4. Grieta central - Tensión (kPa): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	559,030396	567,567688	643,654114	621,506226	750,26532	855,493713	930,939026	979,340088	1238,25195	1297,70105	1362,44202
N1	525,322815	532,114502	602,840698	580,945374	697,685486	795,808594	866,383301	911,952881	1103,50598	1156,48706	1227,43103
N2	586,484619	588,512573	663,400818	651,825623	779,00769	889,049805	968,579895	1020,44	1227,61401	1304,65002	1330,40503
N3	605,331787	613,070679	694,708008	655,549622	777,131592	887,184814	966,966125	1019,29901	1088,44702	1135,22803	1276,14001
N4	624,950989	650,186218	706,071289	690,642029	804,7547	919,46698	1004,38898	1061,72302	1090,21204	1144,33105	1210,90002
N5	685,373291	710,905212	753,86322	730,155273	852,800171	955,220093	1044,88098	1106,448	1139,03796	1185,08203	1185,08203



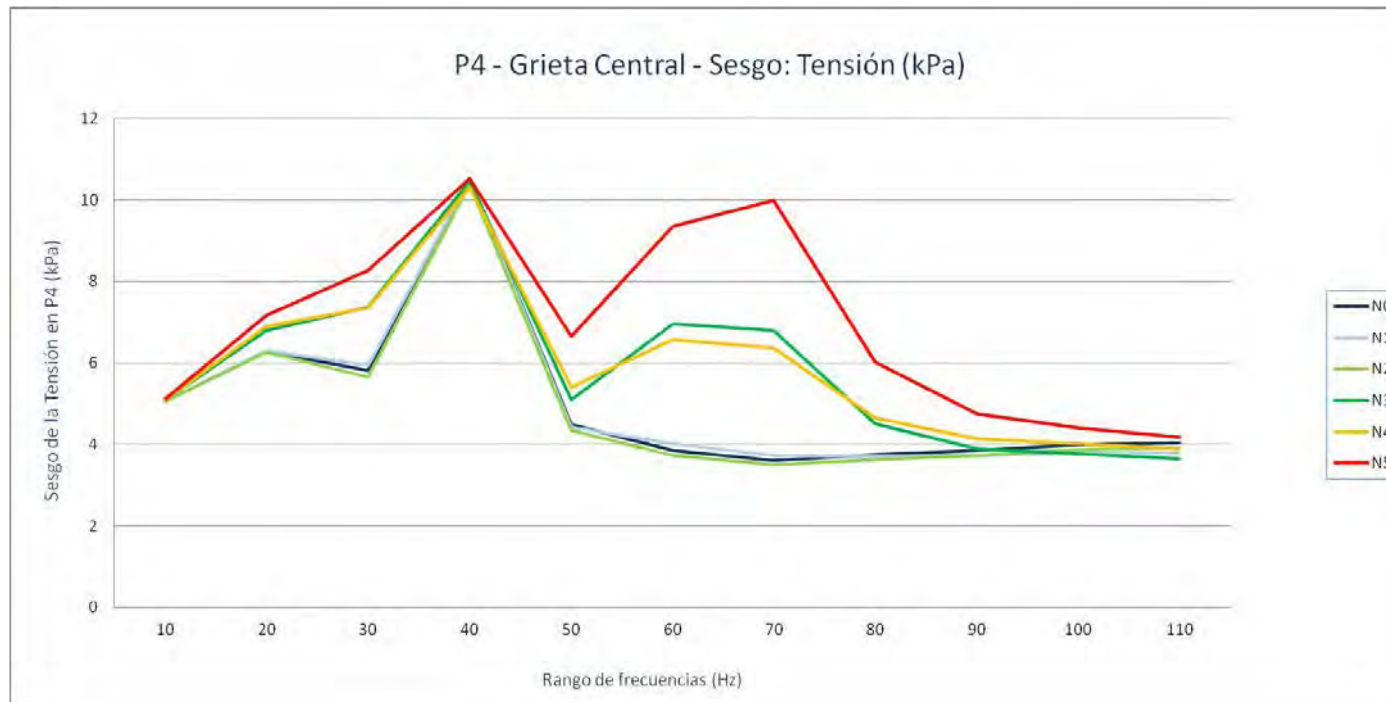
P4. Grieta central - Tensión (kPa): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	28,281775	46,7206889	45,5339562	122,471626	28,54852	22,940325	19,8410702	18,8836018	19,7646262	20,8450016	21,1944192
N1	28,2489193	46,9411817	47,2476757	121,410075	27,8251593	24,9245087	21,5448018	18,5013439	18,3990682	18,9624074	18,9577609
N2	28,2887612	46,3821447	43,1212013	119,712998	27,070456	21,1813387	18,4316837	17,7594777	18,6833178	19,7936404	20,0656577
N3	28,4718986	52,2945889	66,7177923	119,238904	37,5113458	67,5283423	64,9948275	27,7903452	20,503229	18,9427765	17,8188377
N4	28,510961	53,4414823	65,4004022	116,23709	41,5277583	61,8439095	59,1765322	29,99345	23,0339817	21,4686092	20,0710699
N5	28,4810553	56,3317245	77,75347	118,414812	58,6166723	105,899343	119,81822	51,6084194	31,7160431	26,4694995	23,8610958



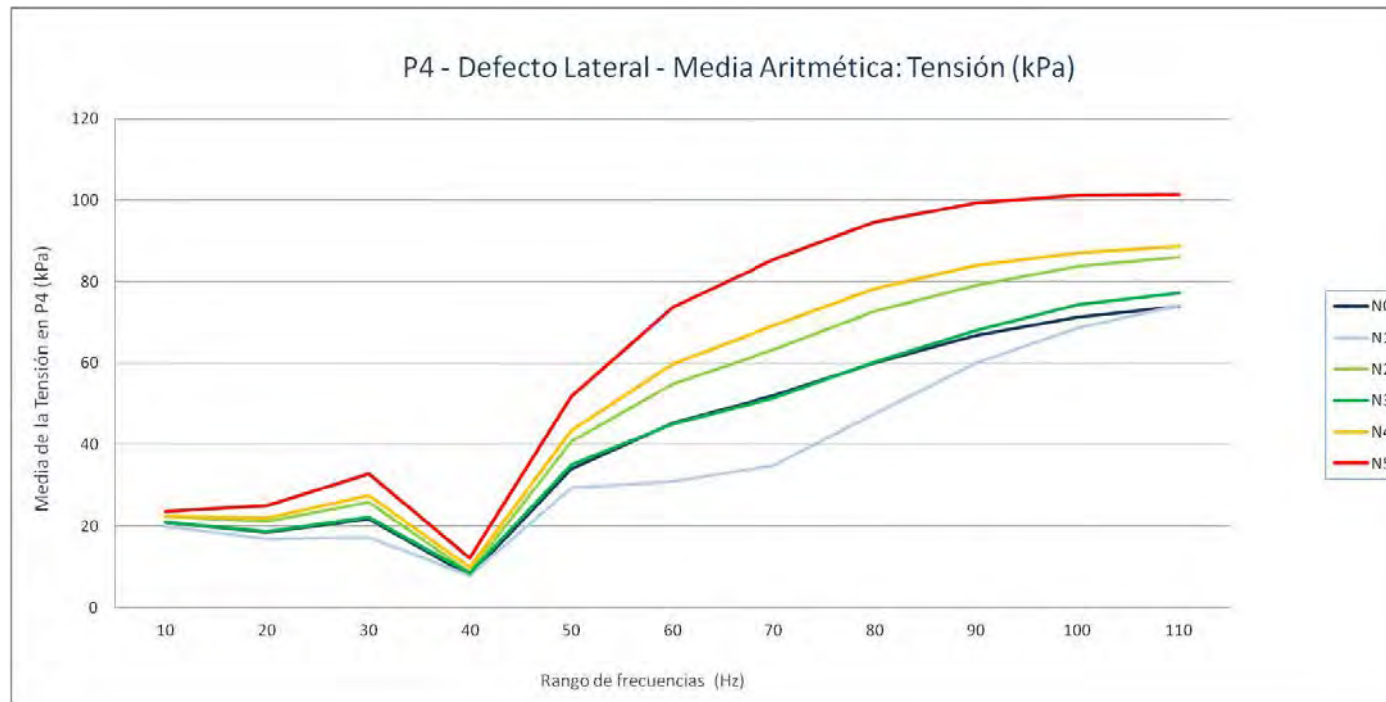
P4. Grieta central - Tensión (kPa): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,0635079	6,29526362	5,82031047	10,529972	4,48473612	3,85506859	3,60848422	3,74407225	3,85273118	3,98833865	4,02723509
N1	5,06259575	6,31408288	5,94858875	10,5031967	4,4156928	4,00648052	3,73702274	3,71005132	3,72122405	3,79418497	3,79588494
N2	5,06496045	6,26242706	5,65151678	10,3873493	4,34378988	3,72342412	3,49726491	3,61880971	3,73269583	3,87066966	3,91034691
N3	5,10168677	6,78941393	7,37633589	10,4573154	5,10984739	6,95516443	6,79163107	4,50134961	3,90052258	3,7691605	3,65702378
N4	5,10905096	6,89671238	7,36223611	10,3163131	5,41776063	6,5789265	6,36665621	4,65827295	4,13665769	4,02297139	3,88339118
N5	5,11261067	7,16892914	8,27802029	10,5301471	6,65342084	9,36157862	9,98276534	6,02505556	4,75935905	4,39825491	4,18252033



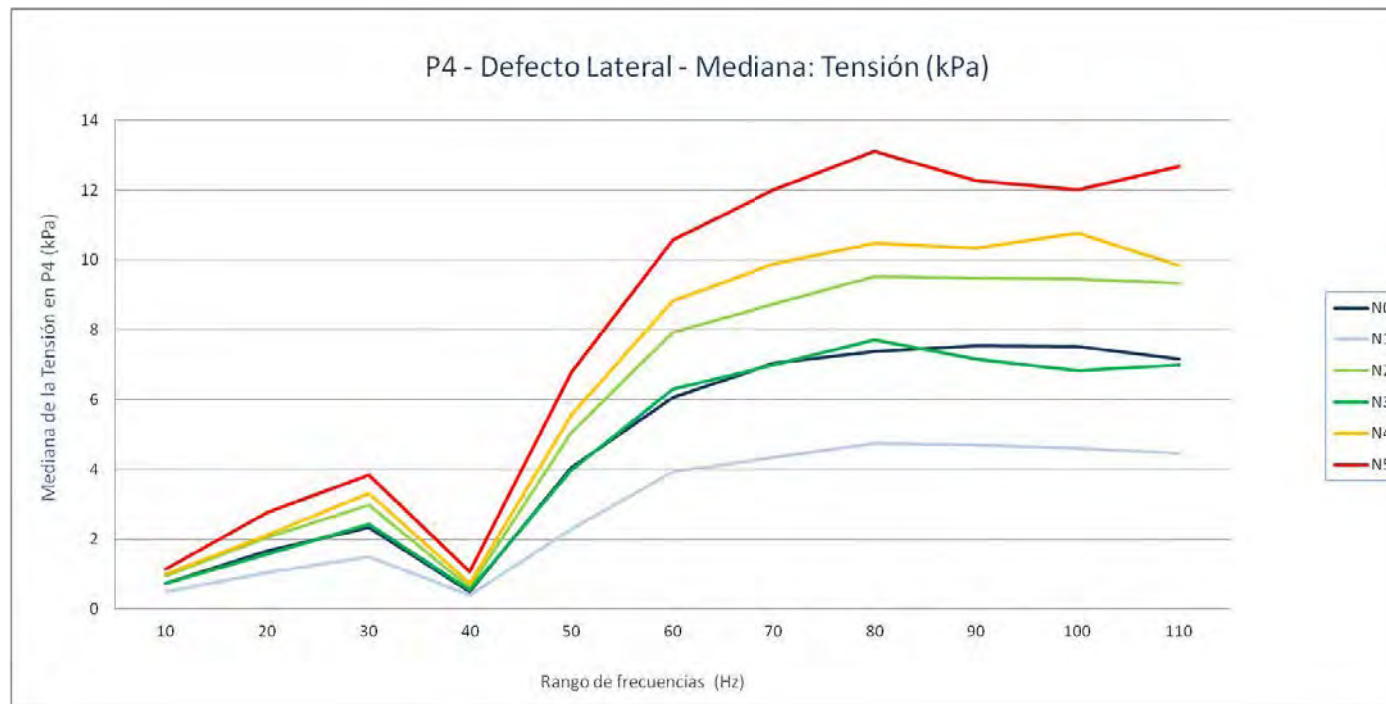
P4. Grieta lateral - Tensión (kPa): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	20,8888552	18,5759537	21,8689384	7,93186174	34,0834671	45,3442804	52,1387575	60,0072664	66,7994222	71,3199122	73,8911408
N1	19,8701446	16,799532	17,2834901	7,79519337	29,3308222	31,0481355	34,8875257	47,5953063	60,1499671	68,6317481	74,2186771
N2	22,4865132	21,2576673	25,9191404	8,59050622	40,8026374	54,889398	63,33543	72,641	79,183614	83,7402347	85,9458646
N3	21,0191691	18,7724295	22,1749893	8,51064358	35,0745272	45,0580159	51,55654	60,1580297	67,9697906	74,4448154	77,2857082
N4	22,3584553	21,9353284	27,5916271	9,87694797	43,4777895	59,8710903	69,2758079	78,1963088	83,8998165	87,0209407	88,7180383
N5	23,5204491	25,0413512	32,7516401	12,0760429	51,9305436	73,7230929	85,4927534	94,642135	99,4003645	101,168166	101,380542



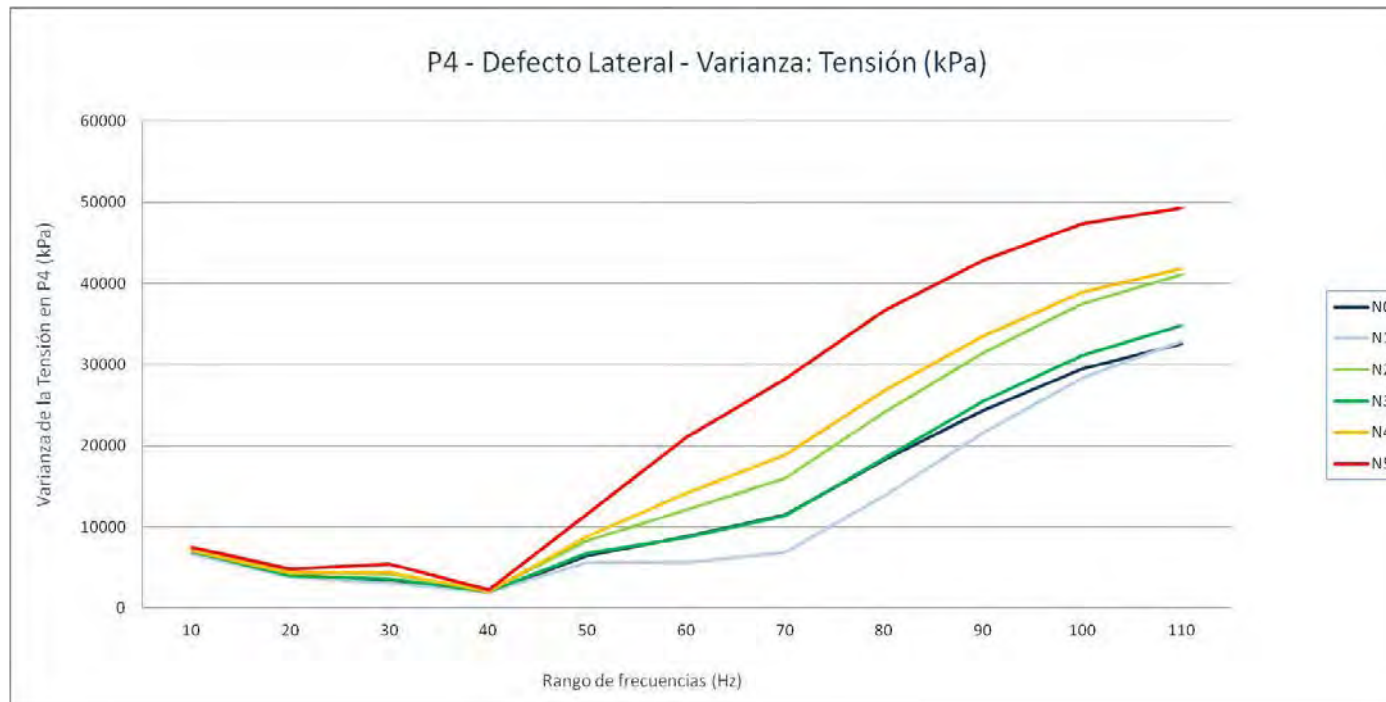
P4. Grieta lateral - Tensión (kPa): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,748658061	1,66889745	2,341809511	0,497833788	4,065975666	6,052768946	7,050605536	7,383175135	7,537899971	7,509604931	7,16990757
N1	0,487430304	1,039752007	1,501720965	0,405809298	2,300012112	3,934379458	4,350913525	4,738147497	4,707912445	4,607583046	4,452260017
N2	0,943846613	2,046800971	2,984210491	0,6101861	5,069928885	7,929811478	8,741919518	9,52954483	9,489601135	9,44686985	9,327680111
N3	0,739982158	1,56902945	2,428555965	0,5342592	3,981993437	6,29521656	6,984400511	7,715308189	7,169313431	6,837574005	6,99657464
N4	1,01128602	2,120316982	3,311975956	0,731342018	5,559720993	8,823387146	9,884159088	10,48462963	10,33866978	10,75959015	9,836149216
N5	1,140837491	2,761700988	3,830265999	1,073634982	6,782333612	10,58666468	12,00056458	13,11328506	12,28095007	12,00465488	12,67682505



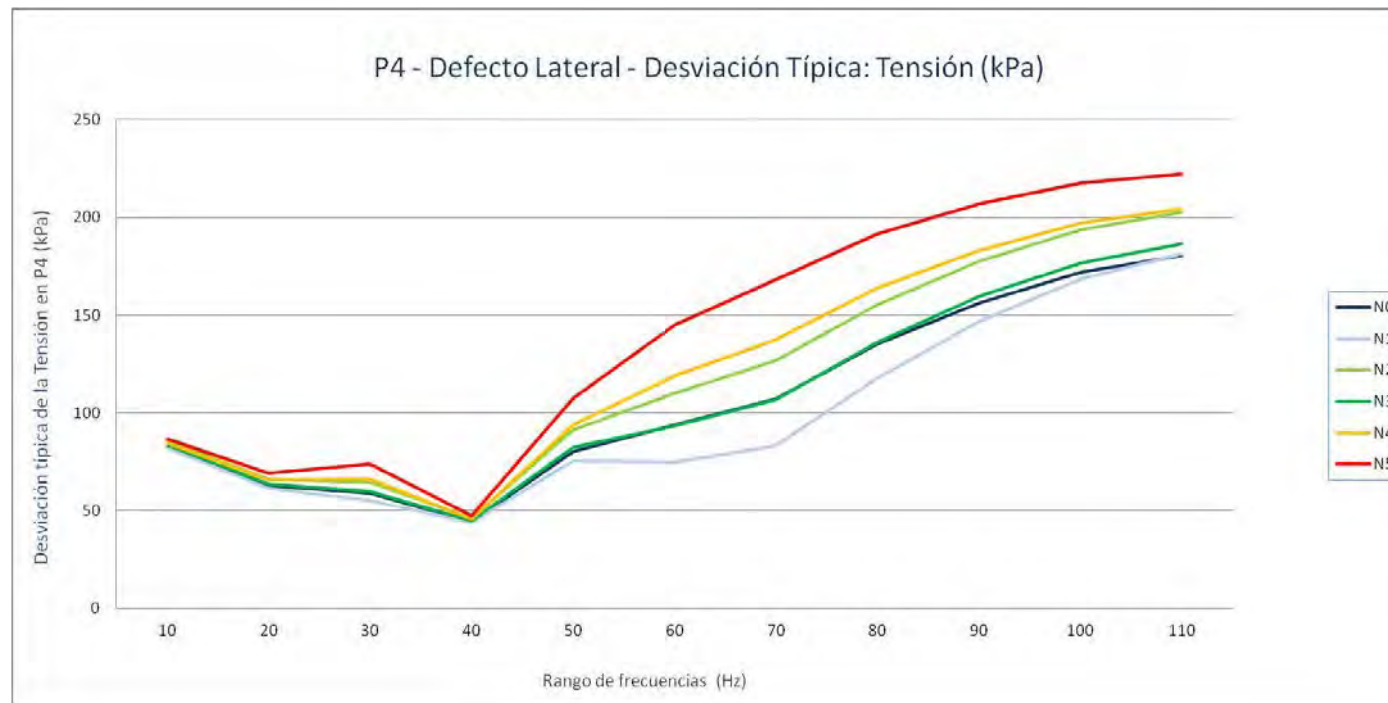
P4. Grieta lateral - Tensión (kPa): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	6819,74873	3914,75377	3463,56089	1966,1738	6470,57752	8810,10399	11508,3865	18244,2609	24369,9022	29491,8867	32559,74
N1	6690,79806	3754,81169	3023,63791	1952,34561	5687,80811	5603,14693	6914,34315	13881,299	21551,4524	28363,1526	32819,3985
N2	7338,11488	4386,23837	4165,51839	2109,6046	8349,86454	12161,6977	16058,9555	24132,268	31432,8503	37509,572	41115,4419
N3	6994,79347	4025,58039	3561,24745	2022,62836	6768,2905	8773,34629	11391,4325	18521,5873	25449,7311	31142,275	34774,8536
N4	7117,2611	4326,83358	4377,34552	2076,94047	8849,46383	14148,6669	18925,8146	26795,3919	33516,7356	38893,2751	41774,7928
N5	7492,58414	4775,64682	5428,85684	2246,05338	11609,6105	21075,3035	28214,9315	36652,0456	42860,1042	47387,1997	49309,167



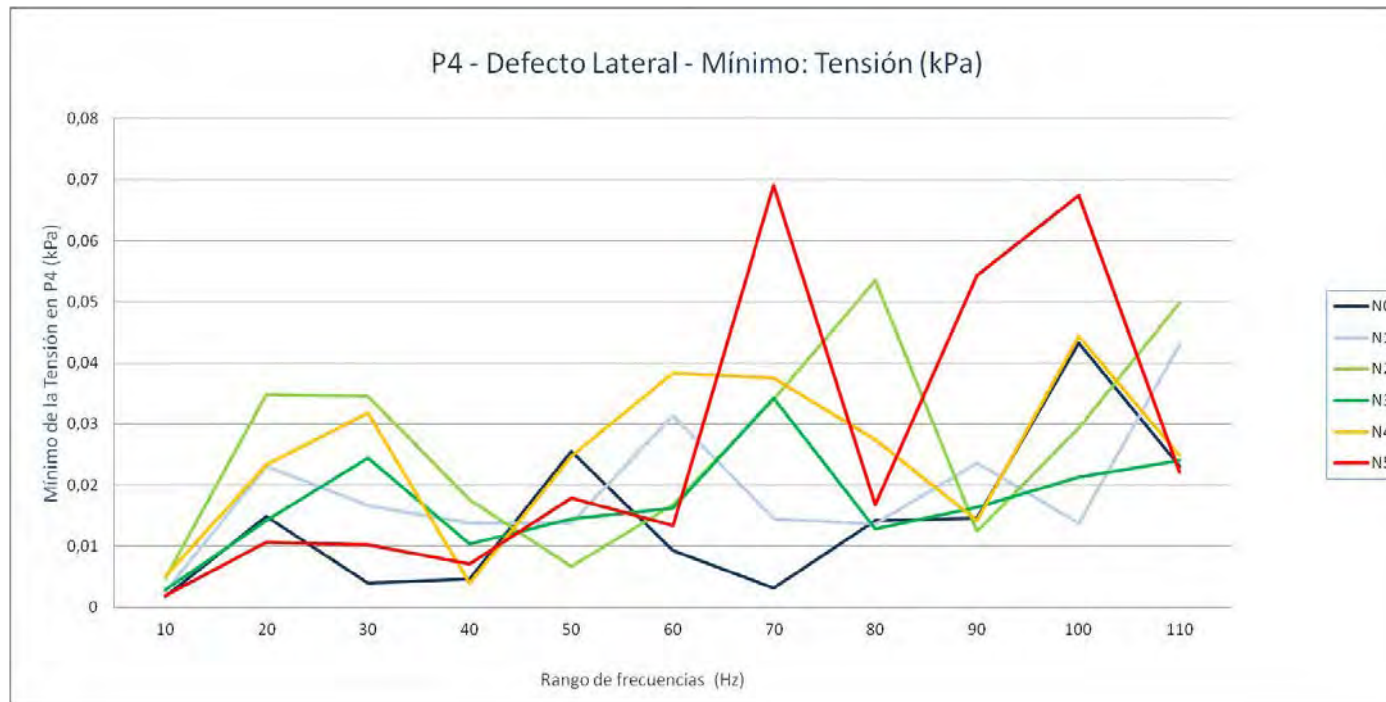
P4. Grieta lateral - Tensión (kPa): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	82,58176995	62,56799319	58,85202534	44,34155839	80,43990002	93,86215419	107,2771482	135,0713179	156,1086231	171,7320201	180,4431767
N1	81,7972986	61,27651825	54,98761597	44,18535519	75,41755839	74,8541711	83,15252941	117,8189245	146,8041292	168,4136355	181,16125
N2	85,6627975	66,22868235	64,54082734	45,93043221	91,37759318	110,2800876	126,7239342	155,3456403	177,2931197	193,6738807	202,7694304
N3	83,63488188	63,44746166	59,6761883	44,97364074	82,26962077	93,66614272	106,7306538	136,0940384	159,5297185	176,4717399	186,4801695
N4	84,36386133	65,77867115	66,16151089	45,57346234	94,07158888	118,9481691	137,5711257	163,6929806	183,0757647	197,2137802	204,3888275
N5	86,55971431	69,10605485	73,68077663	47,39254561	107,7479027	145,1733568	167,9730084	191,4472398	207,02682	217,6860116	222,0566752



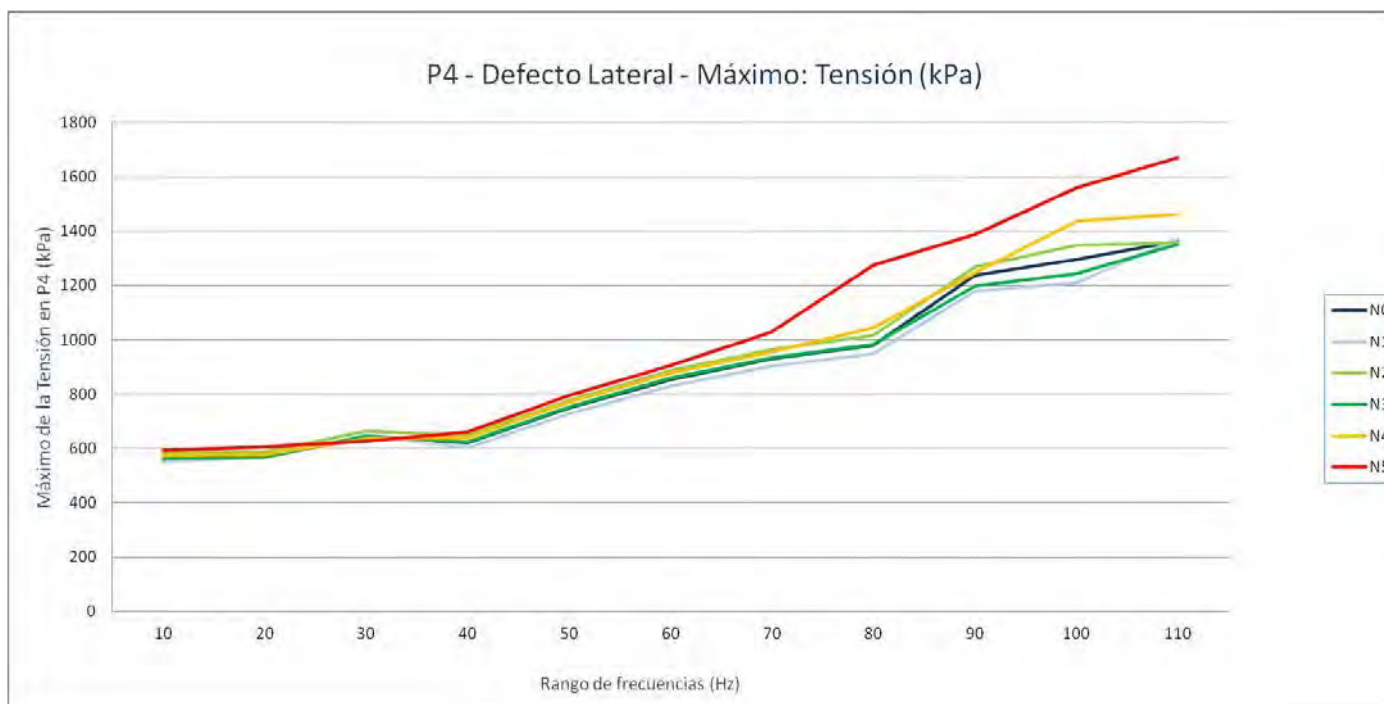
P4. Grieta lateral - Tensión (kPa): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00186168	0,01494694	0,00396553	0,00462578	0,02560181	0,0093431	0,00313133	0,01421336	0,01458822	0,04331836	0,02304066
N1	0,00266154	0,02314633	0,01673319	0,01380557	0,01376092	0,03141123	0,01451571	0,01368105	0,02361421	0,01378971	0,04299884
N2	0,00484122	0,03483878	0,03452669	0,01767335	0,00667668	0,01676101	0,03395112	0,05354578	0,01241546	0,02935791	0,0497861
N3	0,00286732	0,01427121	0,02447689	0,0104327	0,01448896	0,01619686	0,03425414	0,01280083	0,01640888	0,02137906	0,02403245
N4	0,00511123	0,02333636	0,03188417	0,00404888	0,02466961	0,03841414	0,03755426	0,02750827	0,01422977	0,04443645	0,02486219
N5	0,00189706	0,0107279	0,01028212	0,00716283	0,01787442	0,0134609	0,06904037	0,01676805	0,05430986	0,06745151	0,02216403



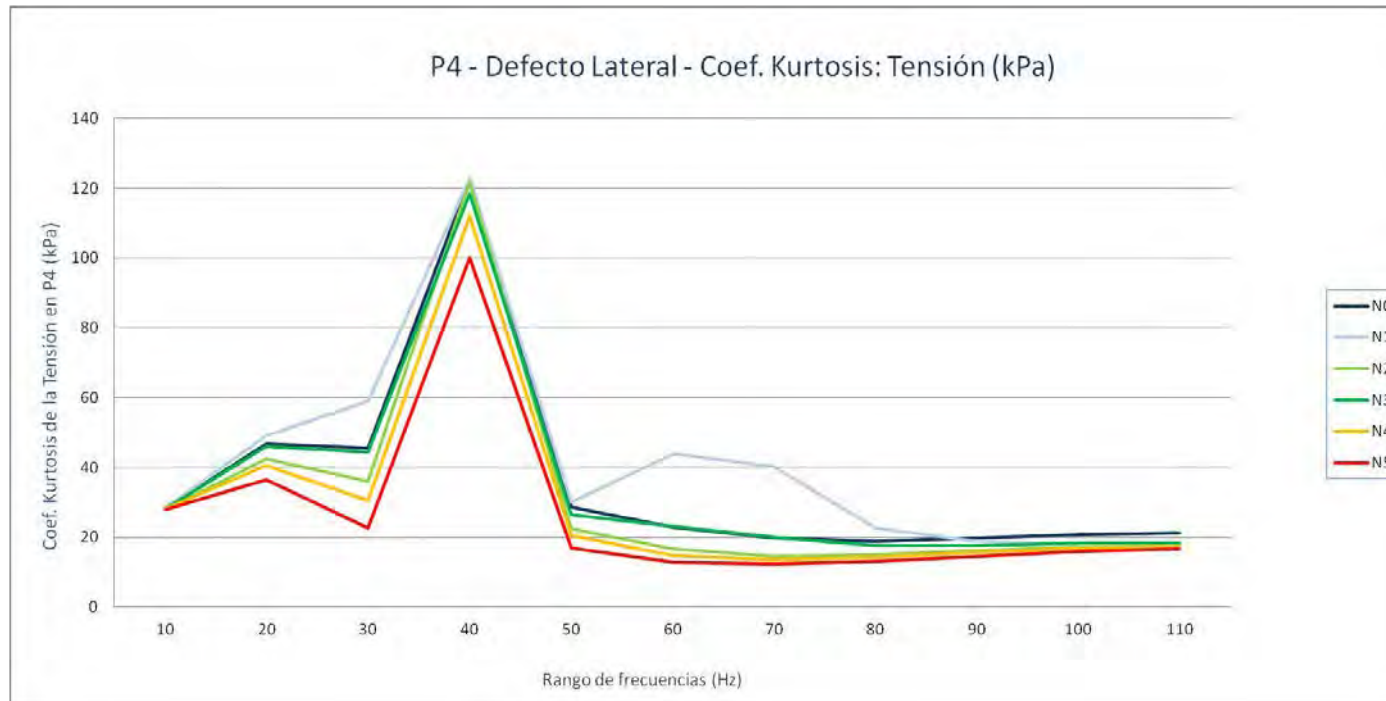
P4. Grieta lateral - Tensión (kPa): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	559,030396	567,567688	643,654114	621,506226	750,26532	855,493713	930,939026	979,340088	1238,25195	1297,70105	1362,44202
N1	550,976318	568,348022	647,784912	601,962097	728,358093	830,219177	903,018677	949,41217	1178,88794	1210,95203	1373,75098
N2	584,96167	586,65332	664,820923	649,0354	776,77063	886,521973	965,853271	1017,60199	1267,14795	1348,84399	1357,401
N3	563,820007	569,539185	644,039917	624,04303	753,847778	859,385681	934,905701	983,155396	1196,49097	1243,54602	1351,245
N4	575,809509	578,750183	635,416626	639,072693	770,840088	879,049011	956,721008	1043,81006	1246,17297	1436,06995	1463,48096
N5	594,481323	604,930786	627,471619	659,461975	795,901184	907,364807	1027,703	1275,85205	1389,77502	1561,026	1670,68201



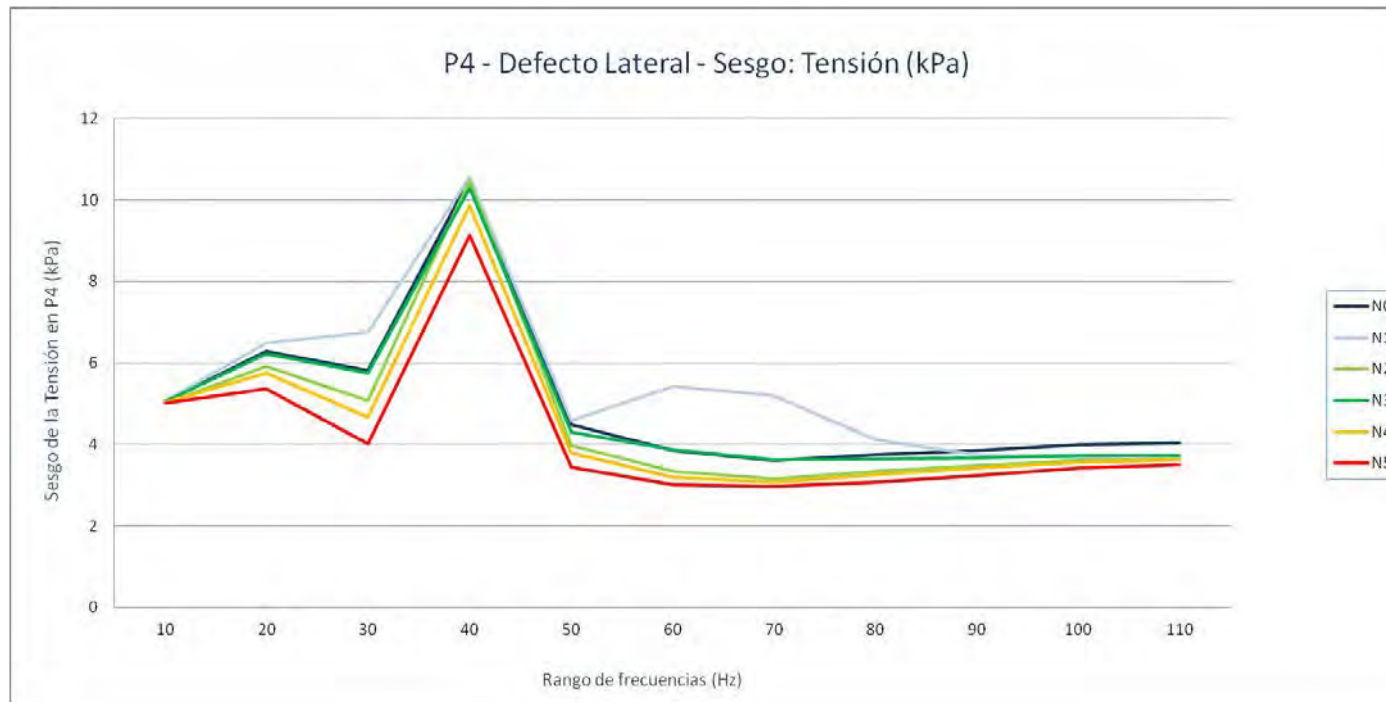
P4. Grieta lateral - Tensión (kPa): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	28,281775	46,7206889	45,5339562	122,471626	28,54852	22,940325	19,8410702	18,8836018	19,7646262	20,8450016	21,1944192
N1	28,3473359	49,0831337	58,9037627	122,831533	30,1212502	43,8727053	40,4306773	22,5989711	18,8078378	17,914056	17,3201403
N2	28,0402408	42,5836489	36,0583639	121,78079	22,3296137	16,6930207	14,6421162	15,0284593	16,1349309	17,1485663	17,4545898
N3	28,2531113	46,0342129	44,3863262	118,414496	26,4519671	23,1978073	20,0562799	17,7355153	17,7361287	18,3208907	18,2918569
N4	28,0691305	40,6419907	30,5261015	111,976794	20,5443908	14,8053554	13,480823	14,3928278	15,7445494	16,8926697	17,4338236
N5	27,9911199	36,4292524	22,664417	100,012754	16,9084047	12,7730445	12,3189667	13,1778334	14,6038611	15,8713309	16,6708536



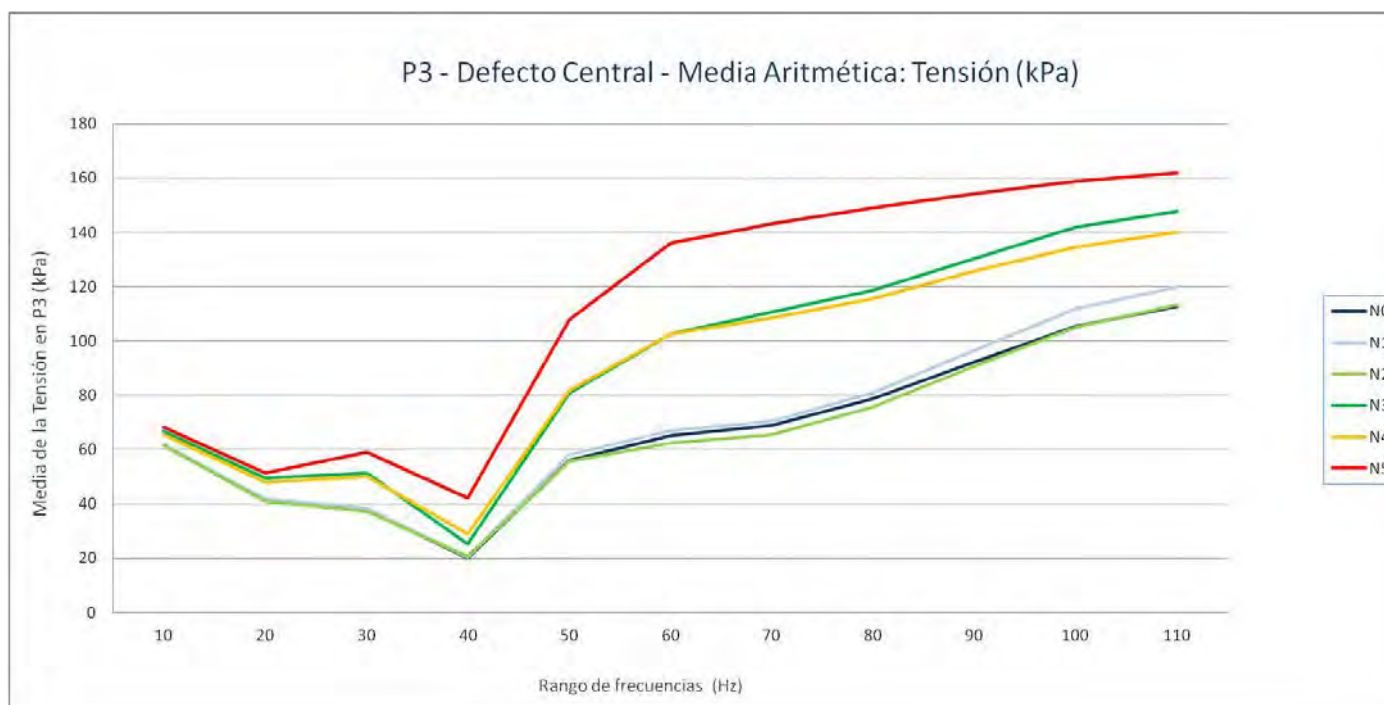
P4. Grieta lateral - Tensión (kPa): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,0635079	6,29526362	5,82031047	10,529972	4,48473612	3,85506859	3,60848422	3,74407225	3,85273118	3,98833865	4,02723509
N1	5,07906489	6,49711247	6,76505722	10,5696724	4,58273737	5,4221851	5,19552444	4,10970706	3,74654952	3,66226004	3,59836834
N2	5,02848637	5,9190545	5,08009585	10,4838926	3,96854786	3,34982025	3,16548972	3,34032899	3,47556015	3,60981949	3,65613625
N3	5,06248898	6,23620213	5,74639987	10,3047664	4,30765667	3,87400631	3,62603142	3,64118942	3,65976185	3,7243623	3,72294604
N4	5,02929139	5,74987716	4,67025915	9,88012881	3,79278653	3,19581645	3,07311788	3,24895565	3,42364273	3,56015182	3,62085798
N5	5,01149169	5,35708348	4,0162533	9,1268222	3,44324048	3,01441033	2,96421695	3,07373071	3,24754704	3,41450211	3,50273667



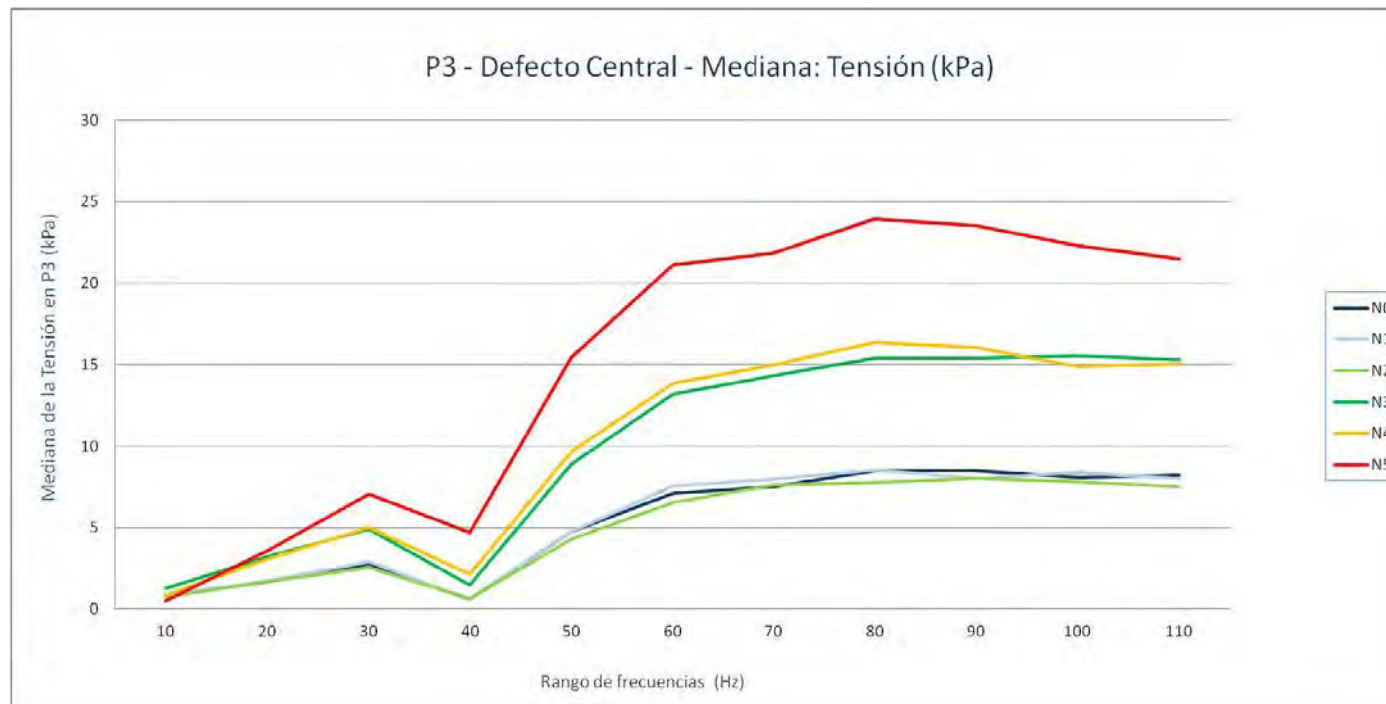
P3. Grieta central - Tensión (kPa): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	61,7912941	41,1860525	37,988525	20,063608	56,0559848	65,3572833	68,9445749	78,6973568	92,2202902	105,565527	112,921078
N1	61,8053109	41,7760103	38,5482546	20,3024135	58,1884219	66,9586051	70,4043318	80,7323904	96,5072046	111,863655	119,751475
N2	61,6563279	40,7994322	37,1640393	20,5921017	55,7236157	62,5749132	65,477702	75,5440466	90,8145887	105,261409	113,441258
N3	66,7698133	49,5840962	51,4492764	25,2865772	80,8994272	102,64716	110,603964	118,630214	130,395139	141,95914	147,93749
N4	65,6416621	48,1319401	50,0498095	28,8761867	81,8229653	102,533738	108,567122	115,548999	125,636883	134,657765	140,174634
N5	68,1511741	51,4989161	59,0500537	42,164537	107,80181	136,233425	143,220147	148,884624	154,311271	158,829053	161,808478



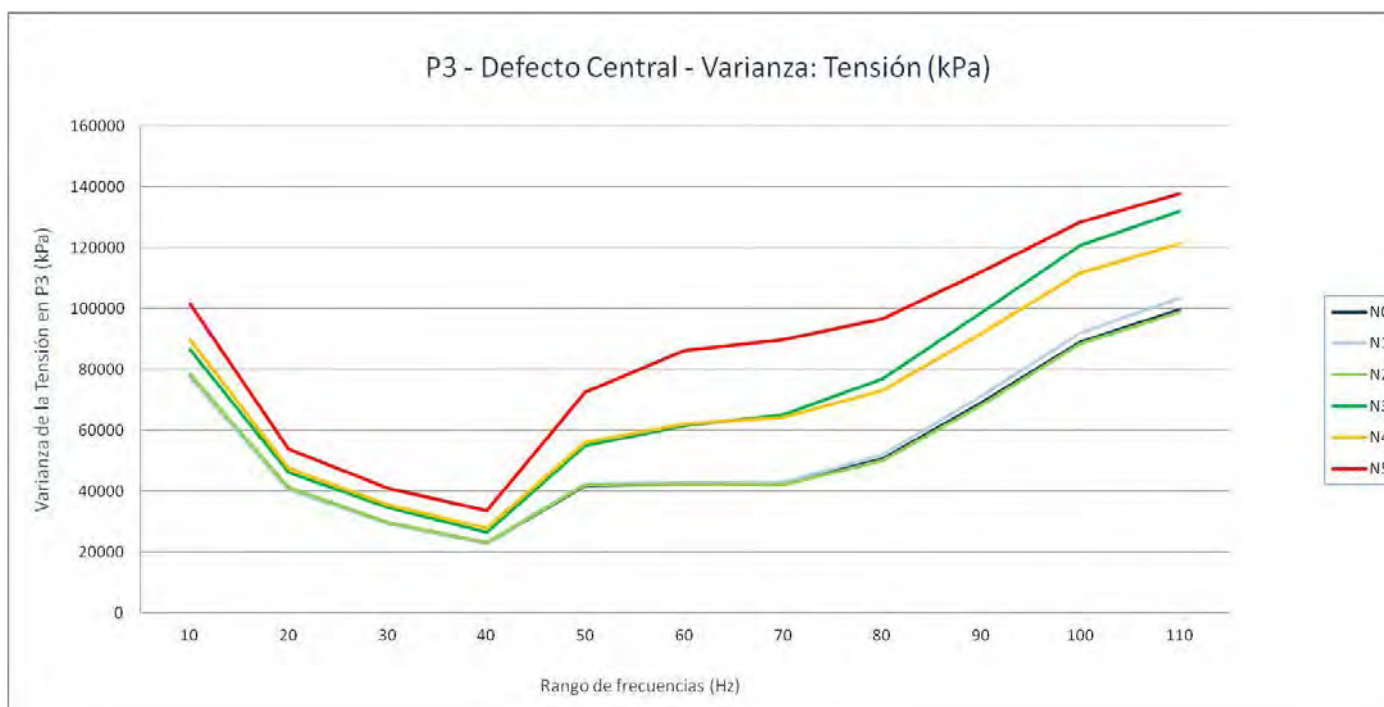
P3. Grieta central - Tensión (kPa): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,859697551	1,68155396	2,744492054	0,60025847	4,754816532	7,103023052	7,533455372	8,491827965	8,467672825	8,088227749	8,211853504
N1	0,855828613	1,74662298	2,886255026	0,590803742	4,735975027	7,551543474	7,982344389	8,54696703	8,030815601	8,38226223	8,015454292
N2	0,755139947	1,682511032	2,537904501	0,681656092	4,31150341	6,531552315	7,642425299	7,773973465	8,048396587	7,821750879	7,536562443
N3	1,296306968	3,207523465	4,890475512	1,485126019	8,903666496	13,22076988	14,32513475	15,41325998	15,38748503	15,56943512	15,31161499
N4	0,872227907	3,041017056	5,022652149	2,153856039	9,685535431	13,8645401	15,01156998	16,38217926	16,08606911	14,88140965	15,02352047
N5	0,483373791	3,588551044	7,074010849	4,708857059	15,42780972	21,10533905	21,85384941	23,95186043	23,51145935	22,31624985	21,5043602



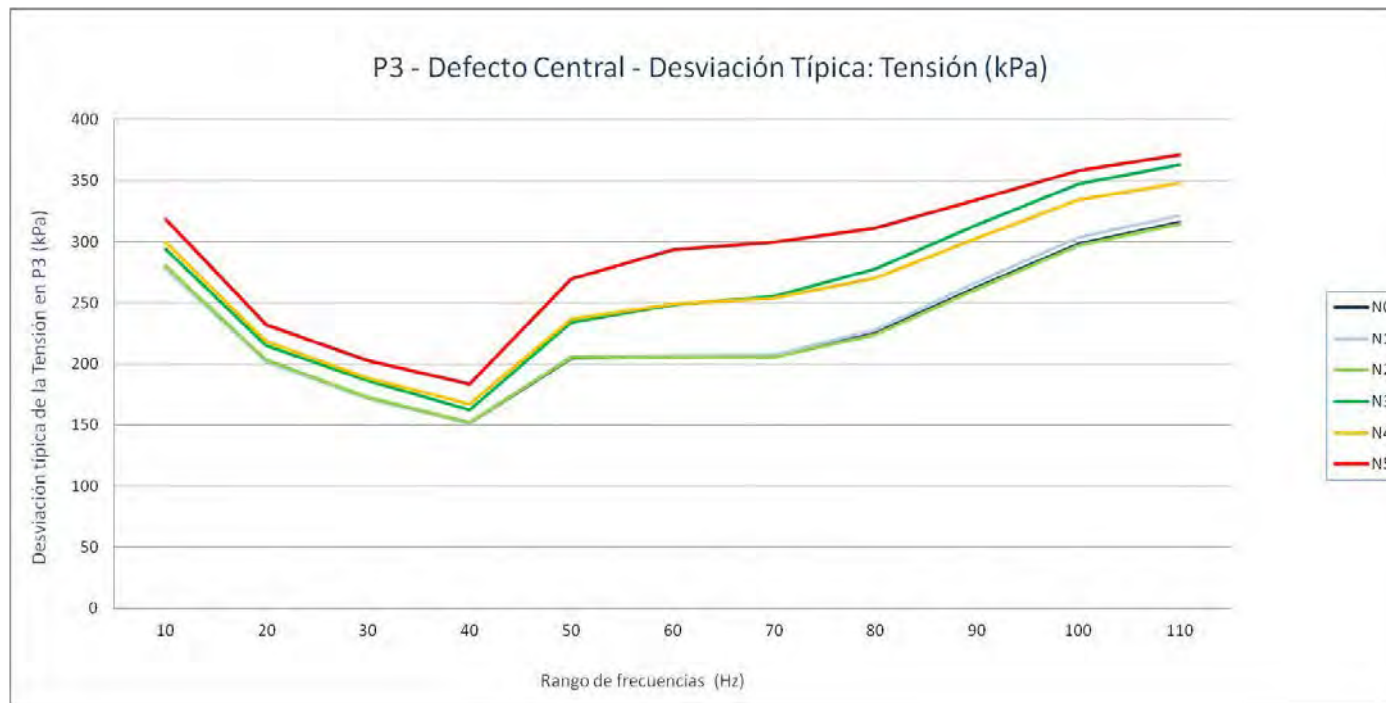
P3. Grieta central - Tensión (kPa): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	77594,8126	40886,6029	29582,8115	22969,8632	41847,6178	42452,2126	42580,4702	50676,3414	68982,7628	89101,7822	99702,7086
N1	77195,2075	40752,015	29579,3366	22915,1384	42479,9694	42895,2303	43057,7977	52088,828	71323,1984	92127,0461	103443,702
N2	78530,1663	41325,6748	29835,4392	23282,3218	42093,6031	42333,6145	42225,0006	50210,3489	68269,7022	88328,466	98859,1399
N3	86476,0202	46192,1833	34834,834	26466,2304	54934,3231	61630,4142	65107,3657	77010,3909	98596,5319	120802,52	132089,854
N4	89811,191	47591,4705	35545,761	27875,1745	56090,6123	62137,2152	64319,4363	73233,0169	91766,298	111749,18	121214,365
N5	101648,432	53819,1188	41147,9952	33690,2478	72523,0069	86329,8169	89765,8623	96776,8869	112069,321	128453,036	137848,443



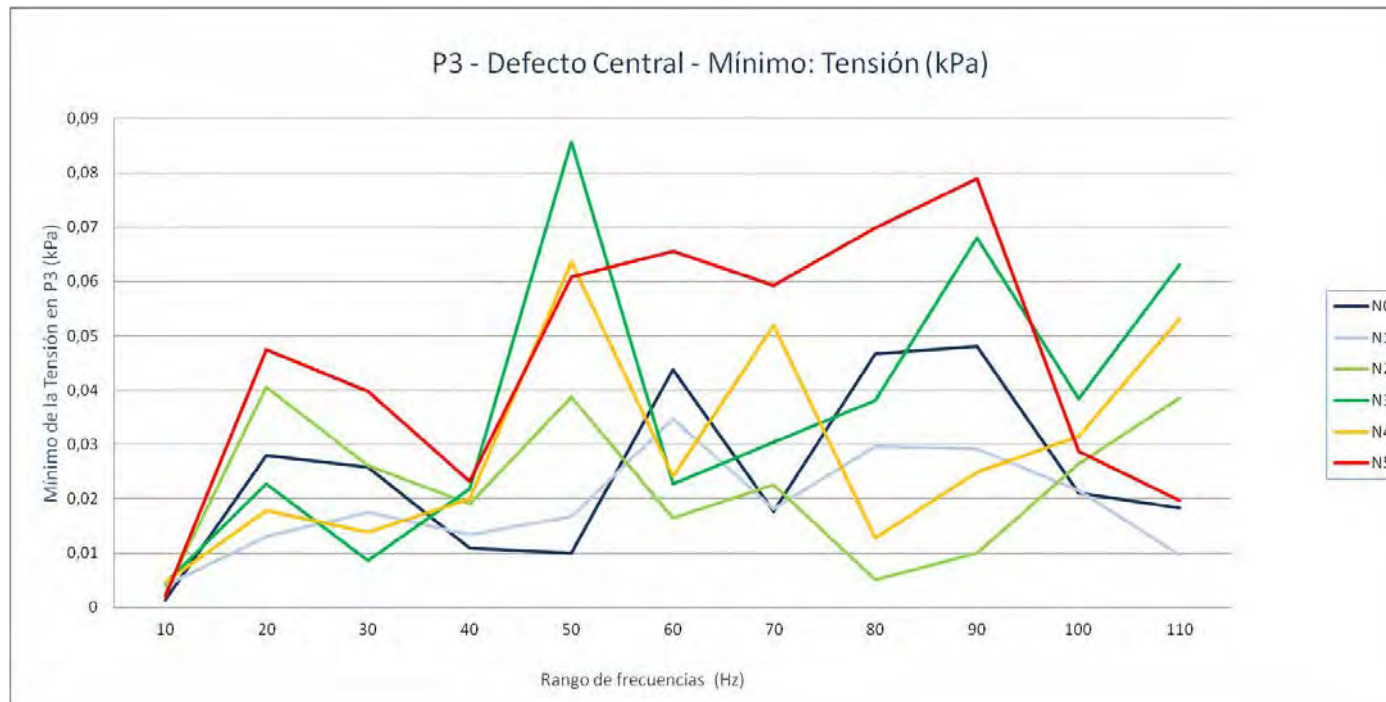
P3. Grieta central - Tensión (kPa): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	278,5584545	202,2043593	171,9965449	151,5581182	204,5669031	206,0393473	206,3503579	225,114063	262,6456981	298,4992165	315,7573571
N1	277,8402553	201,8712832	171,986443	151,3774699	206,1066942	207,1116373	207,5037293	228,2297702	267,0640343	303,5243747	321,6266505
N2	280,2323434	203,2871733	172,7293813	152,5854573	205,1672564	205,7513415	205,4872274	224,0766585	261,2847148	297,2010532	314,4187333
N3	294,0680537	214,9236686	186,6409227	162,6844502	234,3807226	248,2547365	255,1614503	277,5074609	314,0008471	347,5665688	363,4416785
N4	299,6851531	218,1546939	188,5358348	166,9586013	236,8345674	249,2733744	253,6127684	270,6159952	302,9295264	334,2890663	348,1585346
N5	318,8235125	231,98948	202,8496863	183,5490337	269,3009598	293,819361	299,6095164	311,0898374	334,7675623	358,4034542	371,2794682



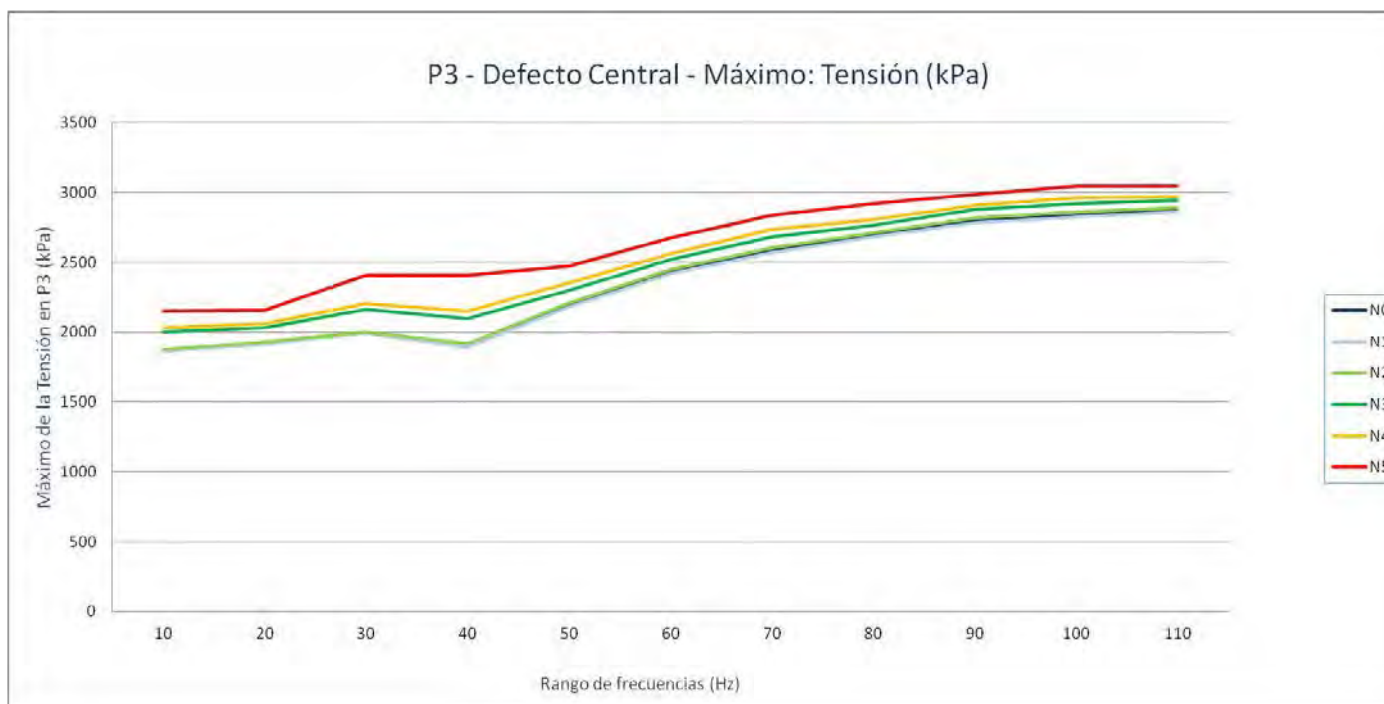
P3. Grieta central - Tensión (kPa): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00142377	0,02792103	0,02574864	0,01091794	0,00995096	0,04379548	0,01766796	0,04677103	0,048014	0,02109063	0,01823882
N1	0,00399809	0,01311983	0,01747103	0,01339275	0,01679896	0,0347413	0,01808947	0,02972581	0,02921273	0,02157386	0,00973314
N2	0,00263781	0,0405475	0,026139	0,01906612	0,03866326	0,01651321	0,02257707	0,00511967	0,00993831	0,02638056	0,0385219
N3	0,00446699	0,0228024	0,00860842	0,02180957	0,08563505	0,02273718	0,03042322	0,03808467	0,06799929	0,0384442	0,06318373
N4	0,00456291	0,01787407	0,01385271	0,0200044	0,06357881	0,02415792	0,05187846	0,01277289	0,02492306	0,03153397	0,05321652
N5	0,00197276	0,04746838	0,03984604	0,02319207	0,06076719	0,06551424	0,05933417	0,06993263	0,07886668	0,0287113	0,01972102



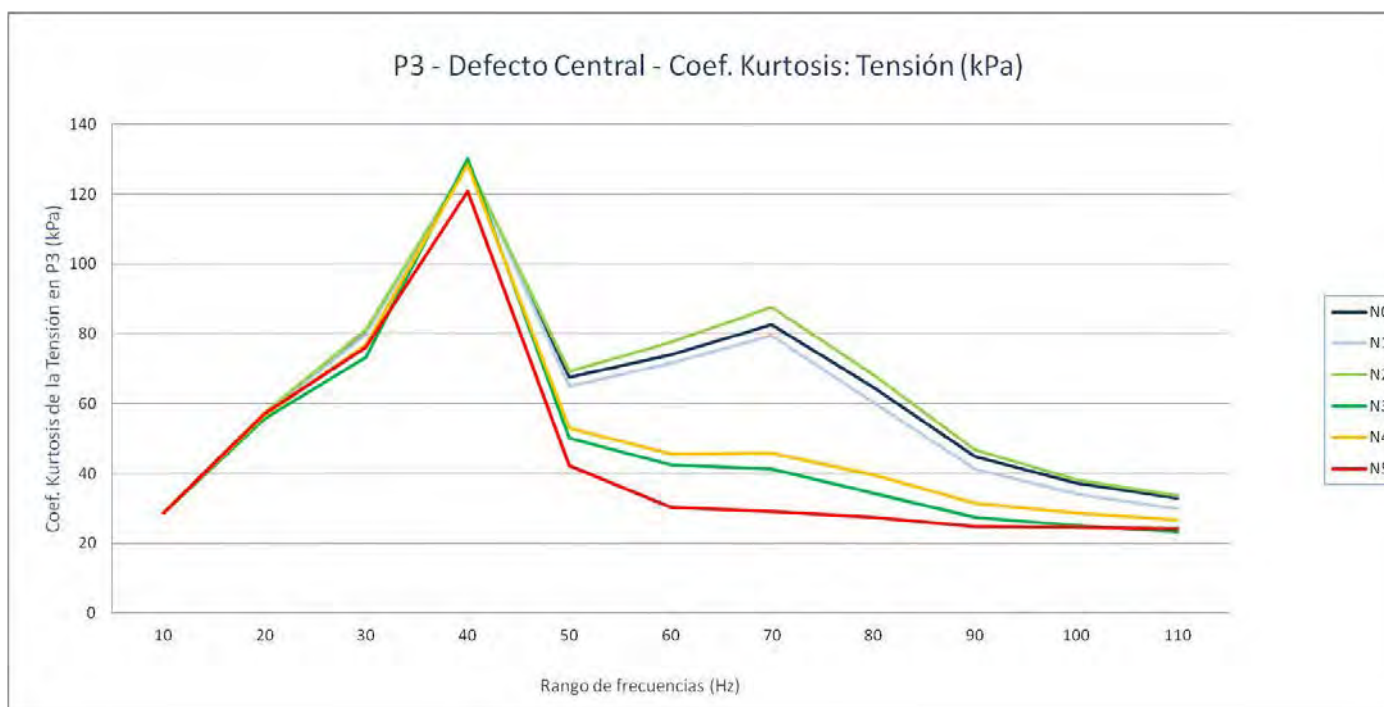
P3. Grieta central - Tensión (kPa): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	1868,41296	1915,25305	1995,35999	1895,88904	2188,25806	2429,7041	2581,05298	2696,73096	2800,59497	2839,72607	2876,60596
N1	1865,96704	1913,89197	1995,98096	1893,43604	2181,78711	2418,54712	2569,96094	2680,93701	2784,74805	2824,28589	2859,00391
N2	1876,64099	1930,07104	2003,81799	1917,85596	2212,3479	2450,96606	2606,05396	2712,82202	2819,33911	2861,12305	2892,50806
N3	1998,25	2029,70605	2161,2771	2096,28003	2299,66992	2518,30591	2681,93994	2764,93311	2876,36792	2922,17603	2942,72998
N4	2029,75403	2063,06104	2204,83911	2148,35791	2355,53589	2561,84497	2734,44897	2808,95288	2910,72705	2962,96094	2969,86792
N5	2152,75806	2158,49194	2407,0271	2404,46191	2473,70093	2673,19409	2837,37988	2922,05396	2986,5061	3044,21704	3044,21704



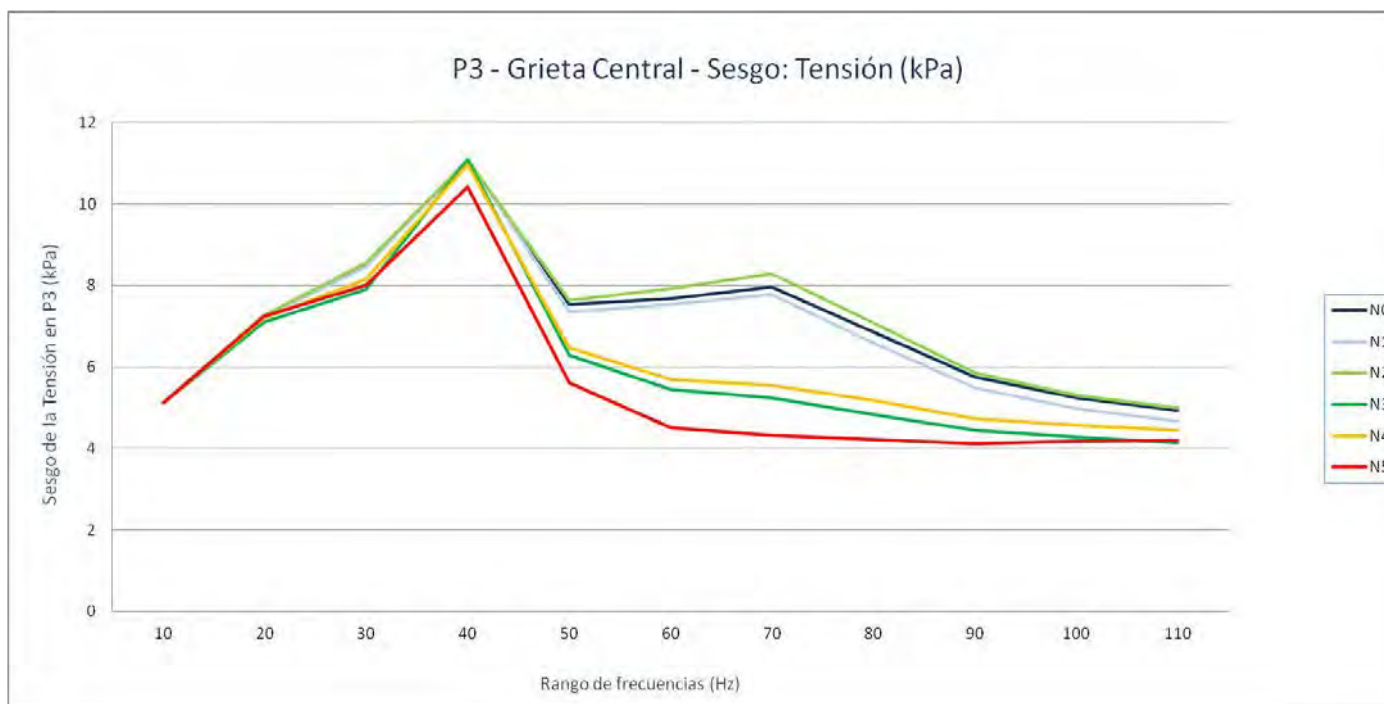
P3. Grieta central - Tensión (kPa): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	28,5246135	57,1507844	80,3938261	128,77139	67,5377939	74,1077971	82,6124028	64,765161	44,9407364	37,1889856	32,8285975
N1	28,5220095	56,927526	79,7896448	129,198543	65,0391227	71,6662576	79,4714408	60,4473492	41,3821649	34,1123211	29,9293017
N2	28,5295618	57,3881033	81,2324182	128,747116	69,148804	77,700809	87,5636632	68,2966692	46,8071037	38,3028058	33,6825136
N3	28,525522	55,5655141	73,2252803	130,220965	50,2305862	42,3992523	41,3552597	34,4165196	27,5261634	25,0082612	23,2802725
N4	28,5563587	56,6974568	76,8675951	128,460302	53,1060072	45,6377539	45,7551917	39,5139385	31,581145	28,5945401	26,8081587
N5	28,5424563	57,1644698	76,2452764	120,887356	42,3176518	30,3857596	29,086402	27,4706331	24,8772879	24,645971	24,1487847



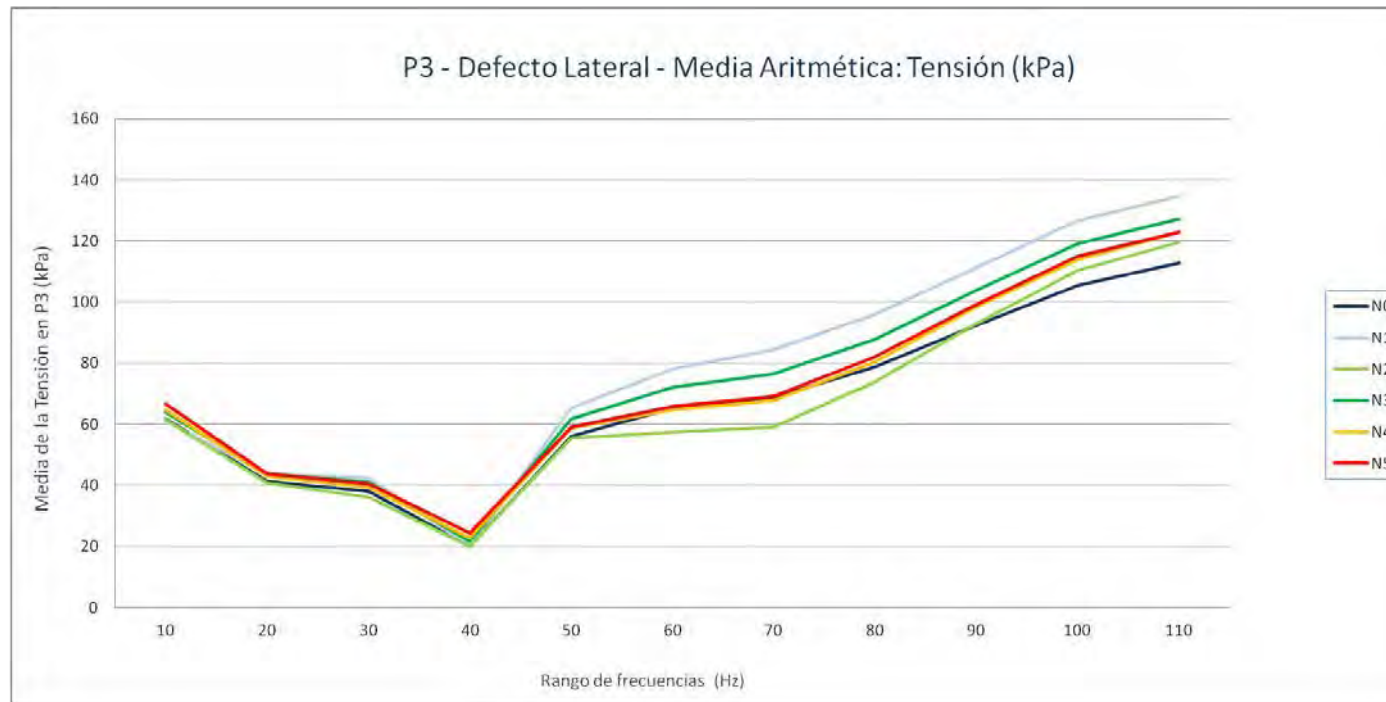
P3. Grieta central - Tensión (kPa): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,11712225	7,25388118	8,50206581	11,0819614	7,53467382	7,6793552	7,97411072	6,86590294	5,7543889	5,24903721	4,94630987
N1	5,11641685	7,23102437	8,45064896	11,0992388	7,35391795	7,52670599	7,78801225	6,59674285	5,47976492	4,98192466	4,67713518
N2	5,11832754	7,27558353	8,56567255	11,0785413	7,64092871	7,92617742	8,29870141	7,0866513	5,86603845	5,31275844	4,99216962
N3	5,11490965	7,0977874	7,89940928	11,093627	6,27906417	5,45465909	5,24619584	4,83709806	4,4420697	4,27963668	4,14834499
N4	5,1216253	7,20447506	8,14964227	10,9705763	6,48149449	5,68947967	5,55055115	5,17293715	4,72973227	4,5609716	4,44201384
N5	5,12158257	7,25133346	8,00889933	10,4219891	5,61791688	4,51297658	4,3184206	4,22125343	4,127145	4,18609256	4,19479295



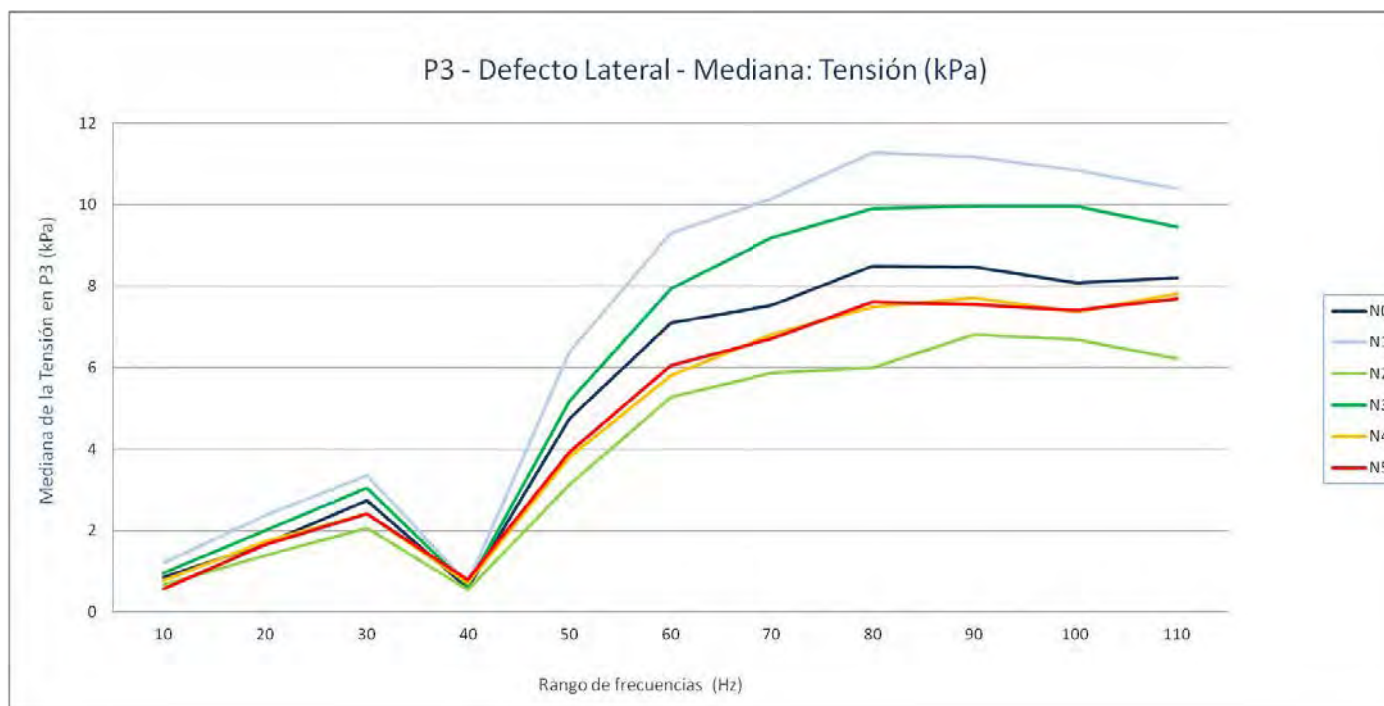
P3. Grieta lateral - Tensión (kPa): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	61,7912941	41,1860525	37,988525	20,063608	56,0559848	65,3572833	68,9445749	78,6973568	92,2202902	105,565527	112,921078
N1	60,9560539	43,7354255	42,3819673	20,1435621	65,3332554	78,2829993	84,3275491	95,915705	111,126914	126,747092	134,591642
N2	61,4629673	40,7960598	36,0483518	19,959388	55,4282843	57,3960403	58,9312496	73,9248324	92,9876118	110,357912	119,54129
N3	63,9254269	43,8531164	40,9586145	21,5953316	61,9123464	72,2792543	76,6098983	87,7463087	103,946541	119,021069	127,403052
N4	64,6714588	43,0245771	39,4595786	22,6605518	58,6902092	64,7607847	67,770077	80,4617277	98,320329	113,884122	122,948404
N5	66,7335882	43,7534322	40,5619848	24,5269713	59,0520702	65,7521097	69,2046202	82,0089695	99,0745486	115,130187	122,954092



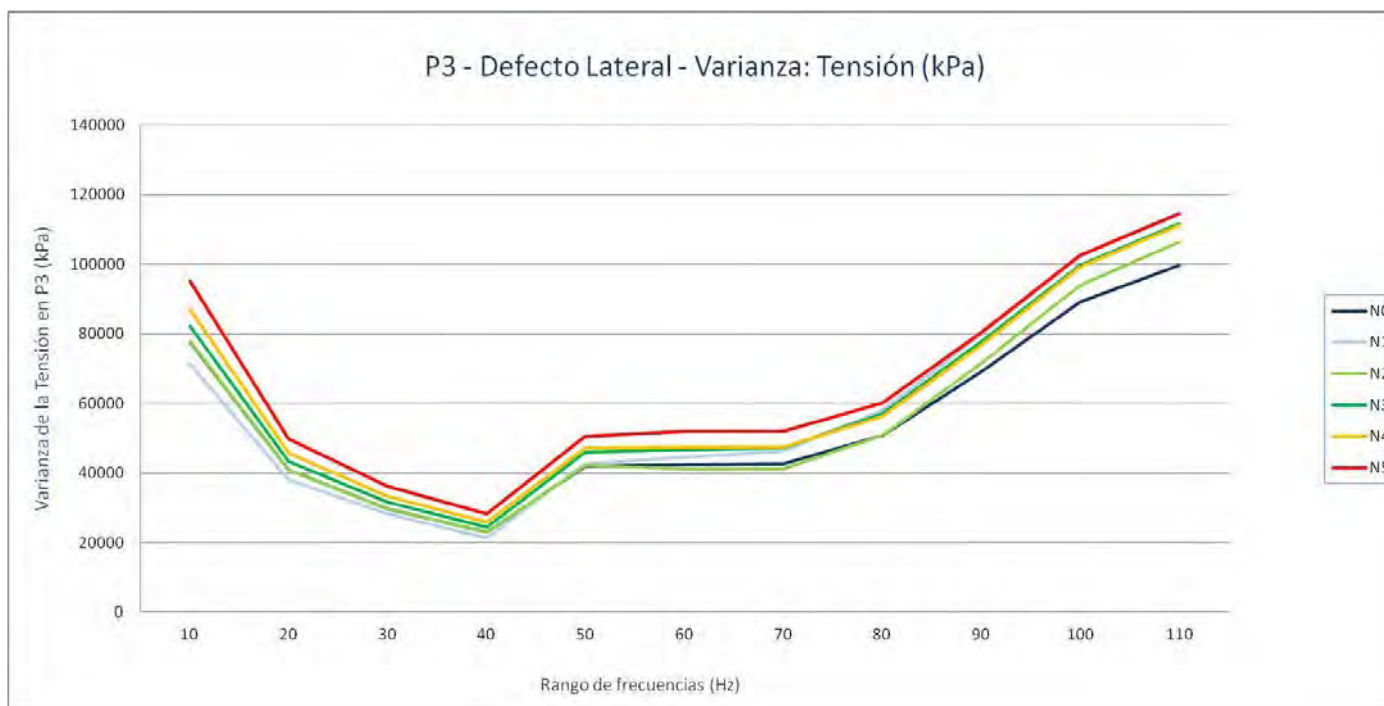
P3. Grieta lateral - Tensión (kPa): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,859697551	1,68155396	2,744492054	0,60025847	4,754816532	7,103023052	7,533455372	8,491827965	8,467672825	8,088227749	8,211853504
N1	1,194859982	2,363367558	3,348451495	0,709331065	6,383481503	9,31062603	10,14199972	11,27679491	11,17738008	10,84210968	10,39947033
N2	0,674988151	1,387953043	2,061495543	0,54764393	3,126726508	5,274806499	5,875947475	5,986299515	6,815741539	6,697722435	6,227591038
N3	0,960971862	2,009360433	3,047532439	0,658056527	5,174498796	7,940490484	9,183940411	9,909379959	9,958942413	9,963656425	9,456481457
N4	0,781153679	1,734307051	2,41645503	0,713622093	3,811346054	5,813952923	6,807631969	7,483310223	7,723501205	7,374155998	7,814415932
N5	0,575233668	1,653569996	2,419739008	0,805094451	3,926546931	6,047359943	6,719034195	7,604269505	7,555108547	7,415621996	7,692454576



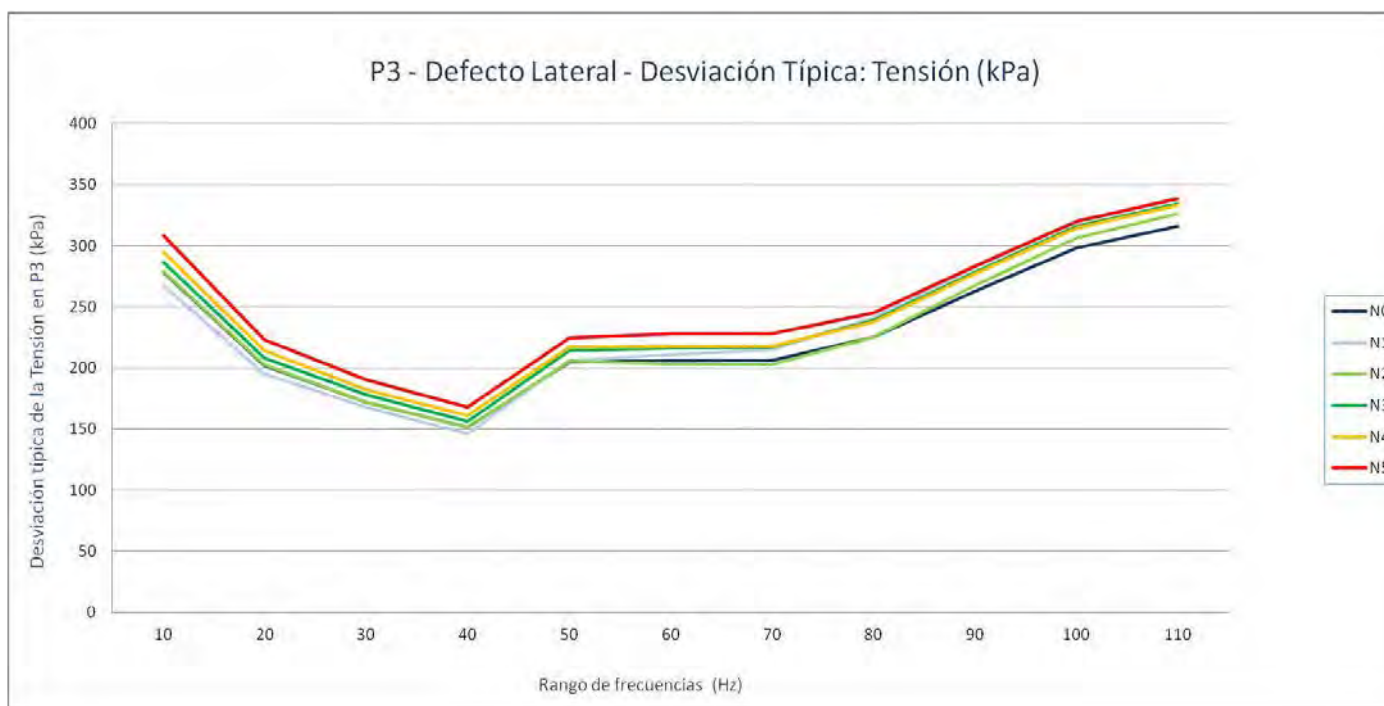
P3. Grieta lateral - Tensión (kPa): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	77594,8126	40886,6029	29582,8115	22969,8632	41847,6178	42452,2126	42580,4702	50676,3414	68982,7628	89101,7822	99702,7086
N1	71428,8857	38065,979	28178,0483	21338,1477	42613,2854	44493,7226	46140,2163	58003,9763	79900,8654	102263,339	114881,266
N2	77903,1751	41075,3672	29673,7528	23027,3718	42262,1391	41314,5102	41147,8849	50889,0426	71449,6527	93883,6015	106402,84
N3	82149,9333	43391,8188	31686,9338	24473,3457	45903,3079	46781,0037	47197,7504	56946,7799	77540,1695	99784,52	111712,606
N4	87039,967	45813,5124	33220,6731	25876,3764	47115,26	47495,1032	47475,5284	56407,1512	76684,7509	99172,2325	111069,713
N5	95097,8085	49928,4352	36177,8228	28303,6989	50550,7824	51929,0876	51944,2927	60050,028	80203,982	102654,5	114494,865



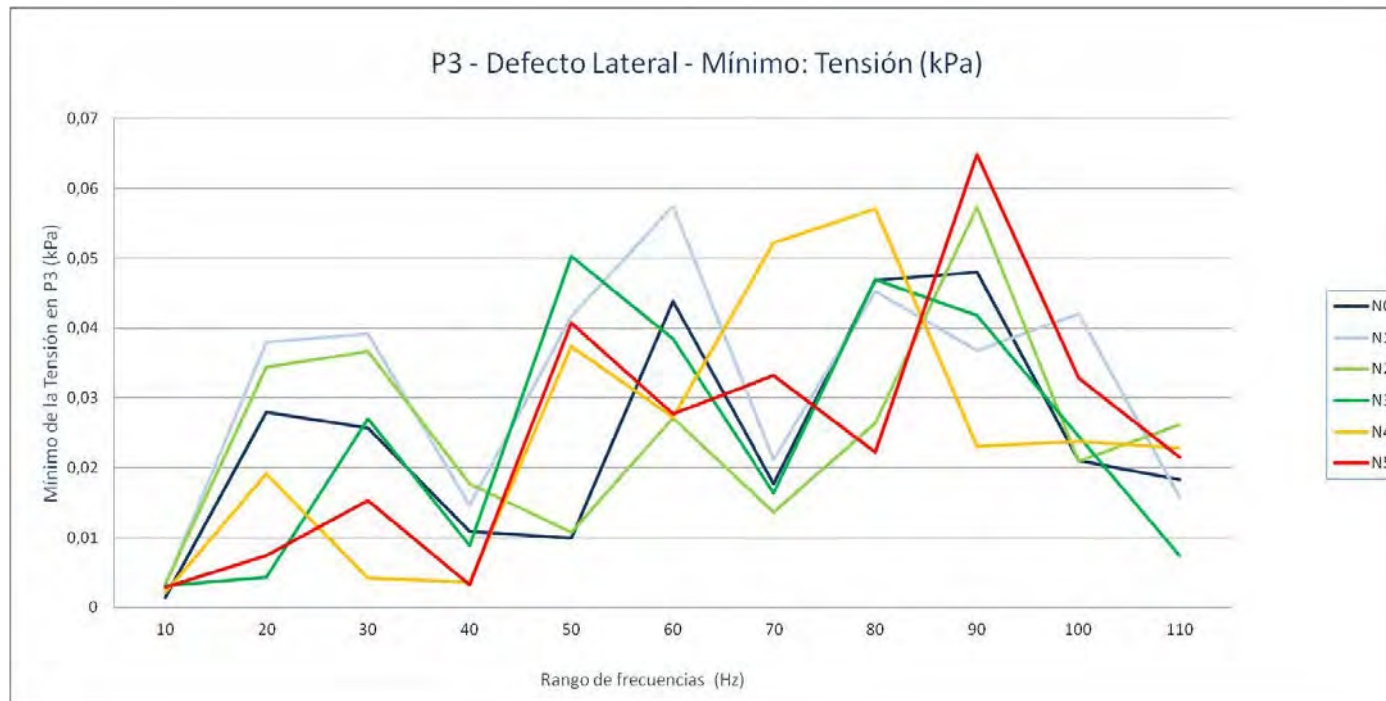
P3. Grieta lateral - Tensión (kPa): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	278,5584545	202,2043593	171,9965449	151,5581182	204,5669031	206,0393473	206,3503579	225,114063	262,6456981	298,4992165	315,7573571
N1	267,2618298	195,1050461	167,8631833	146,0758284	206,429856	210,9353516	214,8027381	240,8401467	282,6674113	319,7863953	338,9413908
N2	279,1114027	202,6705878	172,2607117	151,7477242	205,5775744	203,2597113	202,8494142	225,5859983	267,3006785	306,4043104	326,194482
N3	286,6180966	208,30703	178,0082408	156,4395911	214,2505726	216,2891669	217,2504325	238,6352445	278,4603554	315,8868786	334,234358
N4	295,0253666	214,0409129	182,2653921	160,8613578	217,0604985	217,9337128	217,8887984	237,5018973	276,9201165	314,916231	333,2712308
N5	308,3793257	223,4467168	190,2046866	168,2370318	224,8350116	227,8795462	227,912906	245,0510723	283,2030755	320,3974093	338,3708992



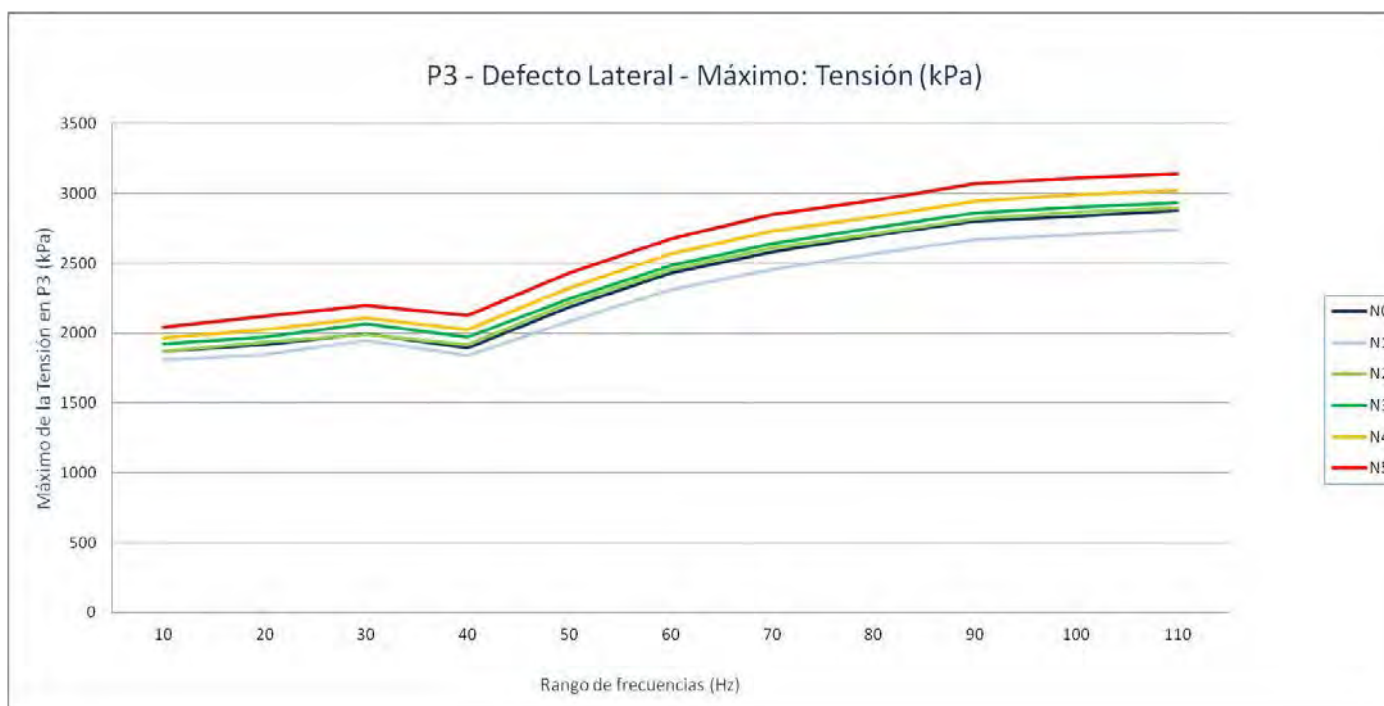
P3. Grieta lateral - Tensión (kPa): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00142377	0,02792103	0,02574864	0,01091794	0,00995096	0,04379548	0,01766796	0,04677103	0,048014	0,02109063	0,01823882
N1	0,00327602	0,03805148	0,03914542	0,01463694	0,04172345	0,05748659	0,02120738	0,04533323	0,03685671	0,042009	0,01583141
N2	0,00340776	0,03442867	0,03664477	0,01766233	0,01074042	0,02716507	0,01363817	0,02637092	0,05735687	0,02087885	0,0262224
N3	0,00311788	0,00435322	0,02696836	0,00883601	0,05024335	0,03845256	0,01643741	0,04698131	0,04181177	0,02450368	0,00739972
N4	0,00222398	0,01912917	0,00424049	0,00356182	0,03741488	0,02720391	0,05225152	0,05714587	0,02311153	0,02374605	0,02279804
N5	0,00286998	0,00742866	0,0153646	0,00320791	0,04070525	0,02777773	0,03318235	0,02222031	0,06490645	0,03282828	0,02150214



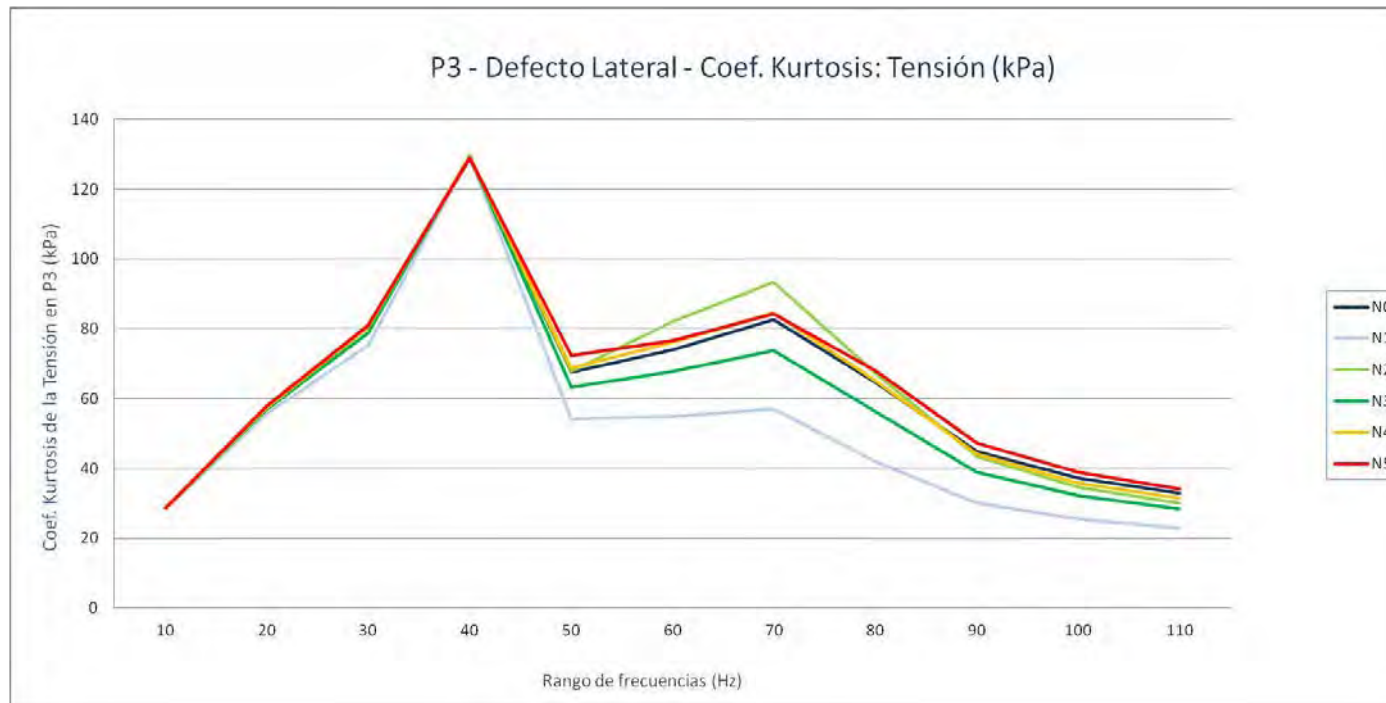
P3. Grieta lateral - Tensión (kPa): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	1868,41296	1915,25305	1995,35999	1895,88904	2188,25806	2429,7041	2581,05298	2696,73096	2800,59497	2839,72607	2876,60596
N1	1808,39697	1843,71997	1945,44104	1839,76501	2081,7981	2312,68188	2455,5481	2570,20801	2668,16089	2704,21606	2742,2561
N2	1867,45203	1933,04004	1990,26599	1916,25	2214,46997	2454,05103	2610,47705	2714,31592	2821,98511	2865,13208	2894,08008
N3	1923,00598	1969,87598	2063,85107	1971,56702	2246,6189	2485,69995	2641,65601	2752,51001	2859,22705	2899,94312	2934,54492
N4	1966,14502	2026,81396	2107,48608	2026,36401	2326,05396	2566,37305	2730,43896	2833,51392	2945,91602	2990,84595	3020,30591
N5	2040,27405	2122,55591	2196,30688	2127,76392	2431,10791	2676,53491	2847,43799	2951,19604	3067,84595	3114,073	3143,56006



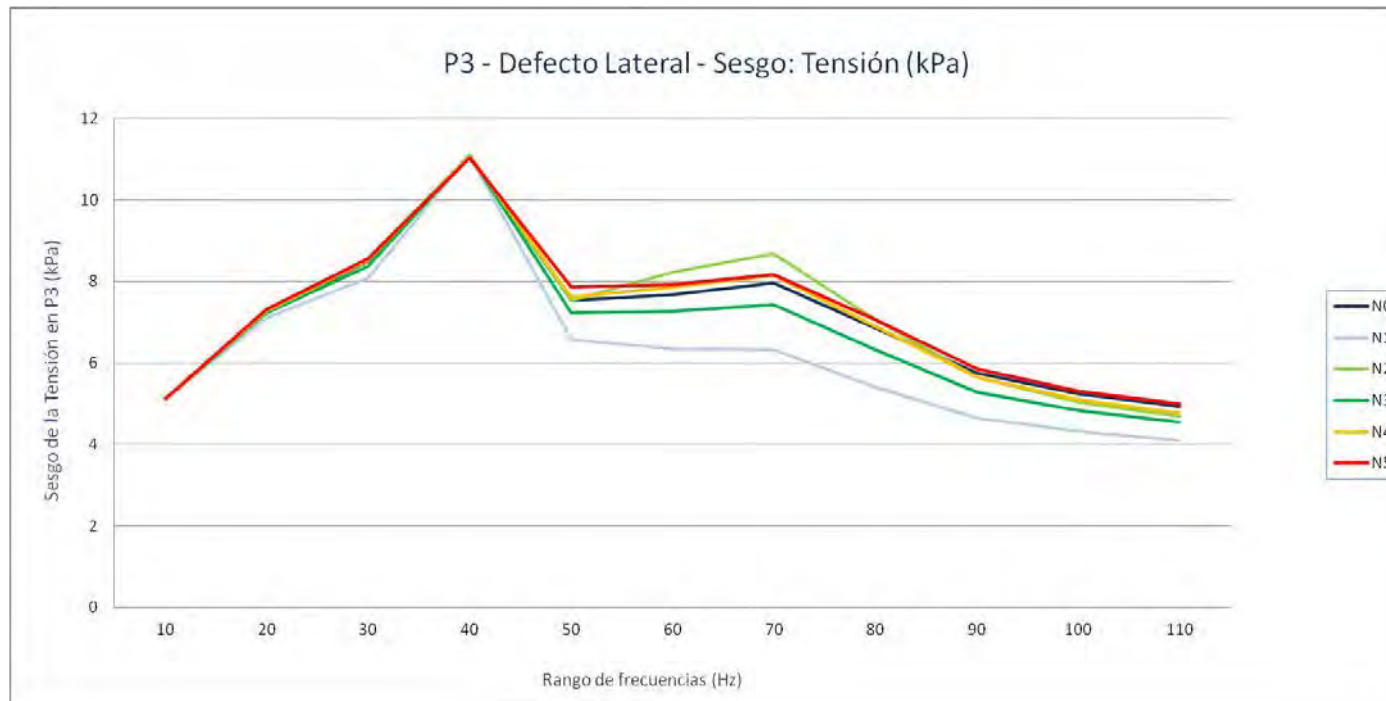
P3. Grieta lateral - Tensión (kPa): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	28,5246135	57,1507844	80,3938261	128,77139	67,5377939	74,1077971	82,6124028	64,765161	44,9407364	37,1889856	32,8285975
N1	28,4983442	55,6104736	75,2161079	129,360621	54,1784785	54,8975229	57,0570723	42,1027174	29,9868055	25,6404891	22,8652869
N2	28,52963	57,19941	80,8781957	129,079011	67,8781095	82,1038352	93,4172217	67,3665739	43,5342691	34,6807651	29,9984883
N3	28,5227629	56,8024269	78,7600321	129,353709	63,3616581	67,7834421	73,8322428	56,3630162	38,9544862	32,329174	28,505417
N4	28,5314857	57,3324484	80,4387248	129,15802	68,8501473	76,2295554	84,5075522	65,2594044	44,1459646	35,9009886	31,4414084
N5	28,5347412	57,661586	80,882085	129,007506	72,3283757	76,7357658	84,2994907	68,036851	47,1791246	38,8665879	34,1690312



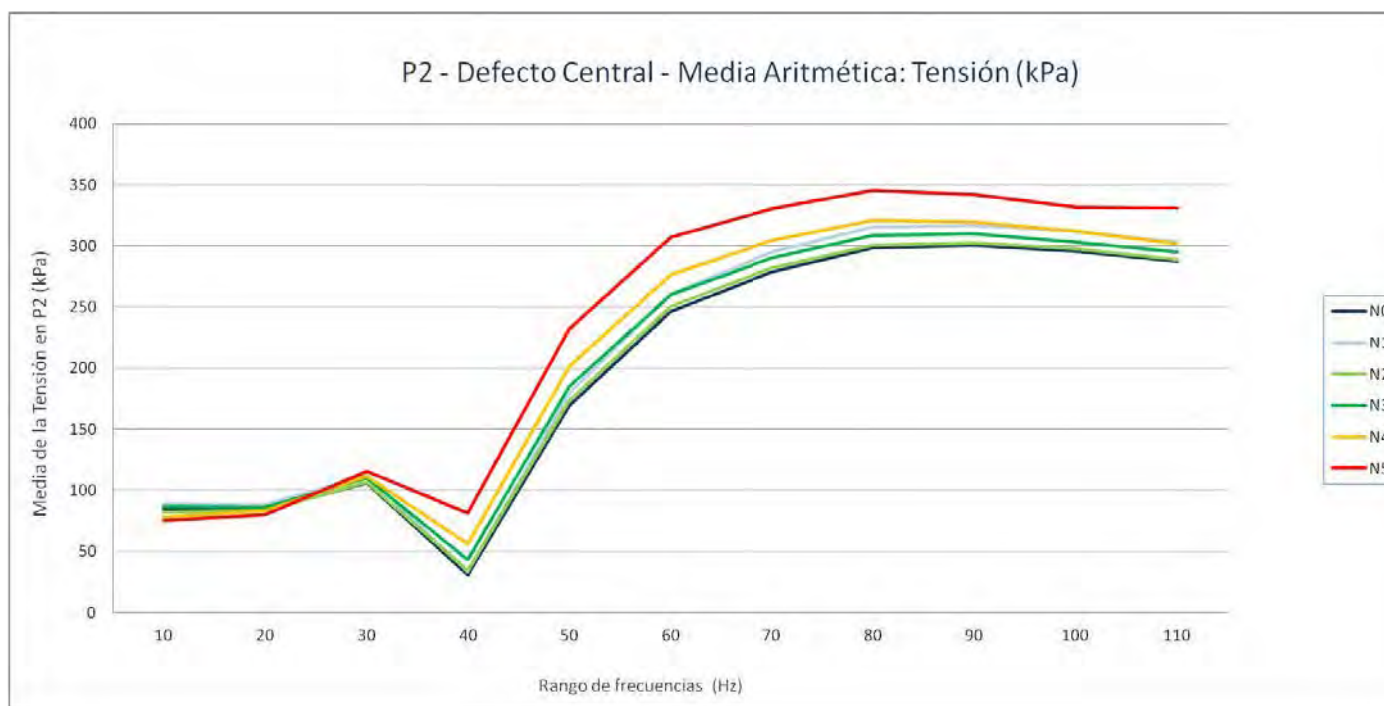
P3. Grieta lateral - Tensión (kPa): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,11712225	7,25388118	8,50206581	11,0819614	7,53467382	7,6793552	7,97411072	6,86590294	5,7543889	5,24903721	4,94630987
N1	5,11095508	7,10483703	8,08380395	11,1035319	6,57451907	6,35697262	6,32286849	5,40084751	4,64916319	4,31506883	4,09297048
N2	5,11777058	7,25542818	8,55166517	11,1036847	7,54223334	8,23151685	8,69014189	7,06105076	5,64379619	5,03372672	4,68974499
N3	5,11661202	7,2194674	8,37001743	11,0906982	7,23436421	7,27059245	7,43269537	6,32764592	5,294926	4,83254839	4,55289333
N4	5,11910398	7,27164538	8,51349071	11,070803	7,61873285	7,87102609	8,15264614	6,89964794	5,65458026	5,09693288	4,78122518
N5	5,12052228	7,30505086	8,55354302	11,0423961	7,86693216	7,93002453	8,1653827	7,07251459	5,86033	5,31057778	4,997053



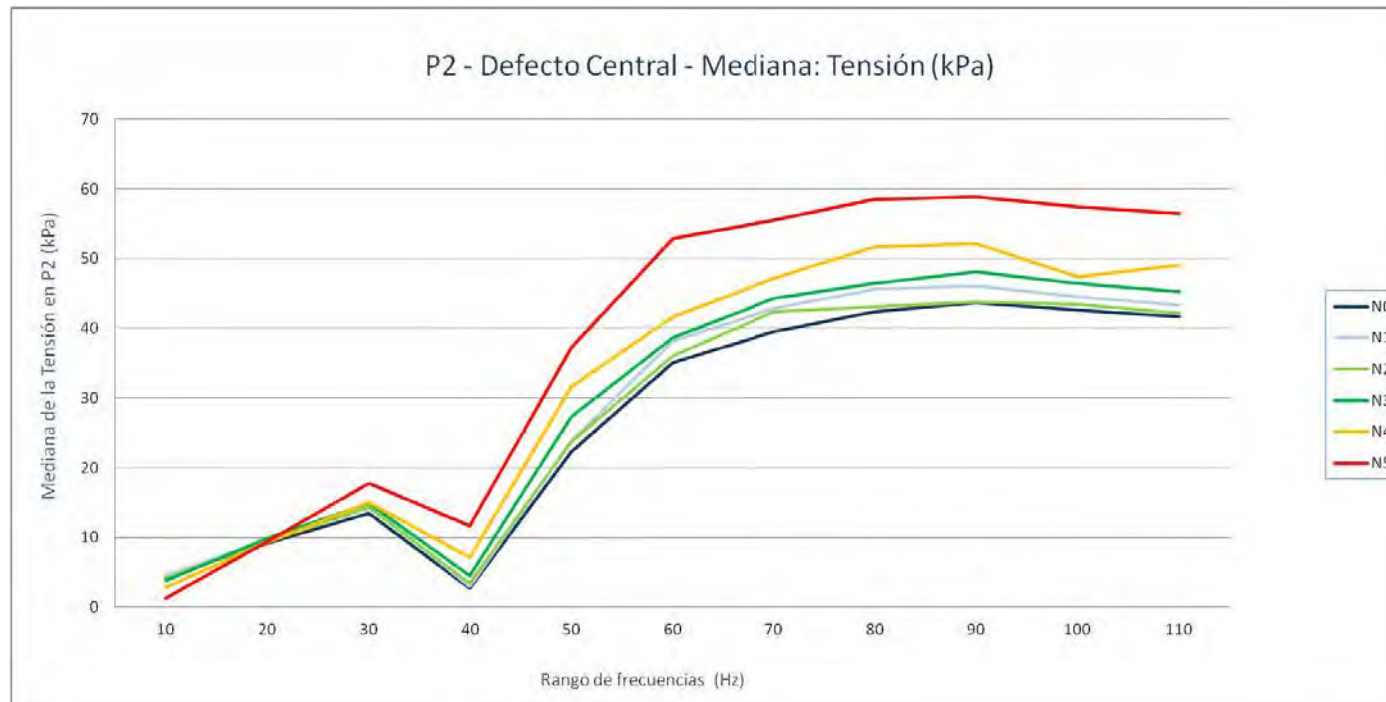
P2. Grieta central - Tensión (kPa): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	84,9878236	84,0191896	106,185725	30,7372187	169,245819	246,358948	278,743331	298,258739	300,656421	296,003966	287,595301
N1	89,0633724	88,3750218	112,084165	33,4537232	179,626285	260,988557	294,773779	315,150992	317,010379	312,329283	302,958646
N2	82,3456623	83,3999722	106,789145	34,4616194	173,77621	250,746383	282,0928	300,717724	302,556285	297,401277	288,664108
N3	86,7912532	86,3661116	110,092399	43,2261654	185,073875	260,422181	290,20259	308,337303	309,96919	303,259916	295,08175
N4	77,8224001	83,6732116	111,718771	56,2723723	201,575252	276,432993	304,481883	320,976504	319,772682	312,379063	302,138945
N5	75,2853549	80,3635497	115,235572	81,3625685	232,412554	306,984872	330,743583	345,281379	341,988156	331,587114	331,331795



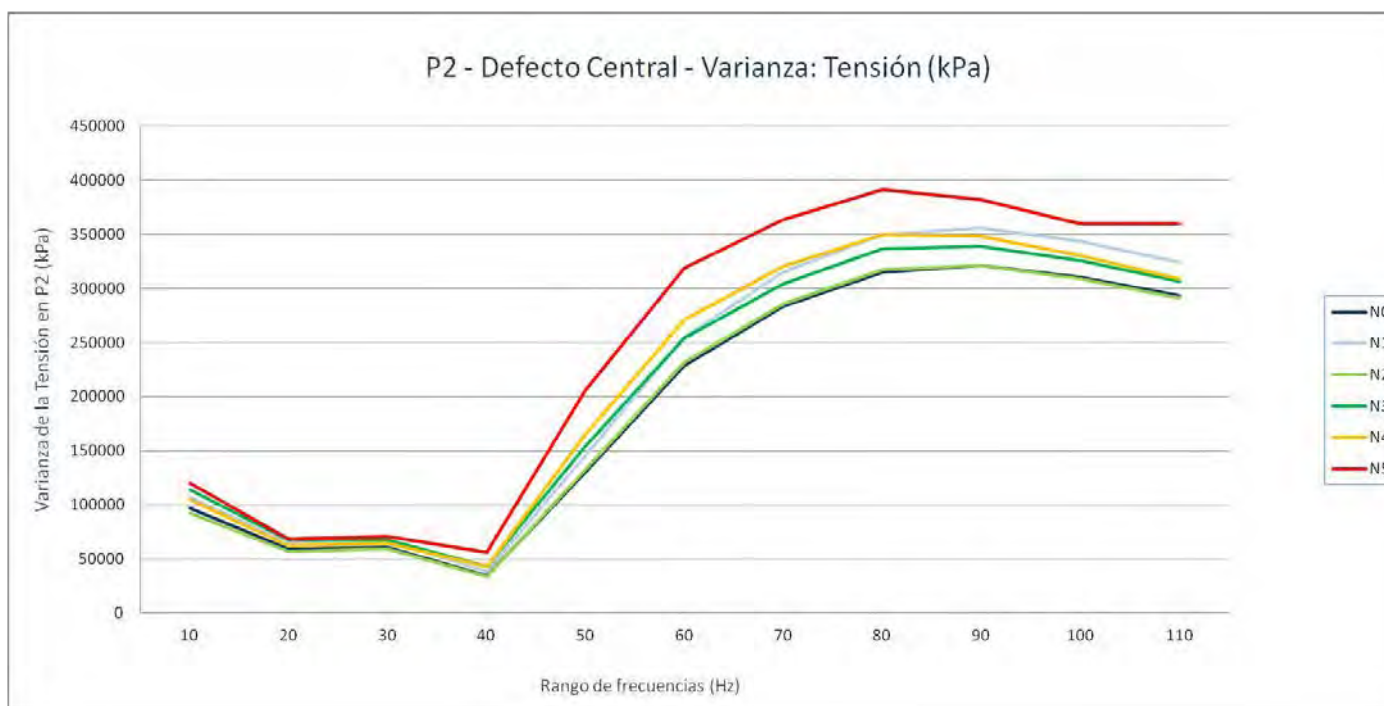
P2. Grieta central - Tensión (kPa): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	4,376983881	9,126957417	13,46794987	2,763173938	22,32139492	35,08626556	39,5607605	42,4216404	43,65764427	42,64242935	41,61357117
N1	4,573890924	9,60857439	14,75766993	2,940392494	23,82368469	38,20153999	42,81694031	45,55630493	46,08587646	44,56867409	43,36230087
N2	4,177961588	9,364605427	14,27576017	3,479658008	23,75242996	36,07015991	42,33551979	43,11219978	43,79878998	43,4586544	42,07553864
N3	3,826898098	9,880114079	14,86300993	4,484912395	27,27554035	38,6760006	44,33201981	46,42715073	48,13059998	46,43047523	45,25778961
N4	2,791501045	9,248827934	15,05070019	7,137282848	31,58501053	41,69313812	47,13454819	51,72621155	52,11074066	47,41170883	49,01522064
N5	1,257141948	9,4392519	17,72248077	11,67243004	37,21746826	52,91249084	55,46380997	58,54999161	58,86550903	57,46057892	56,42253113



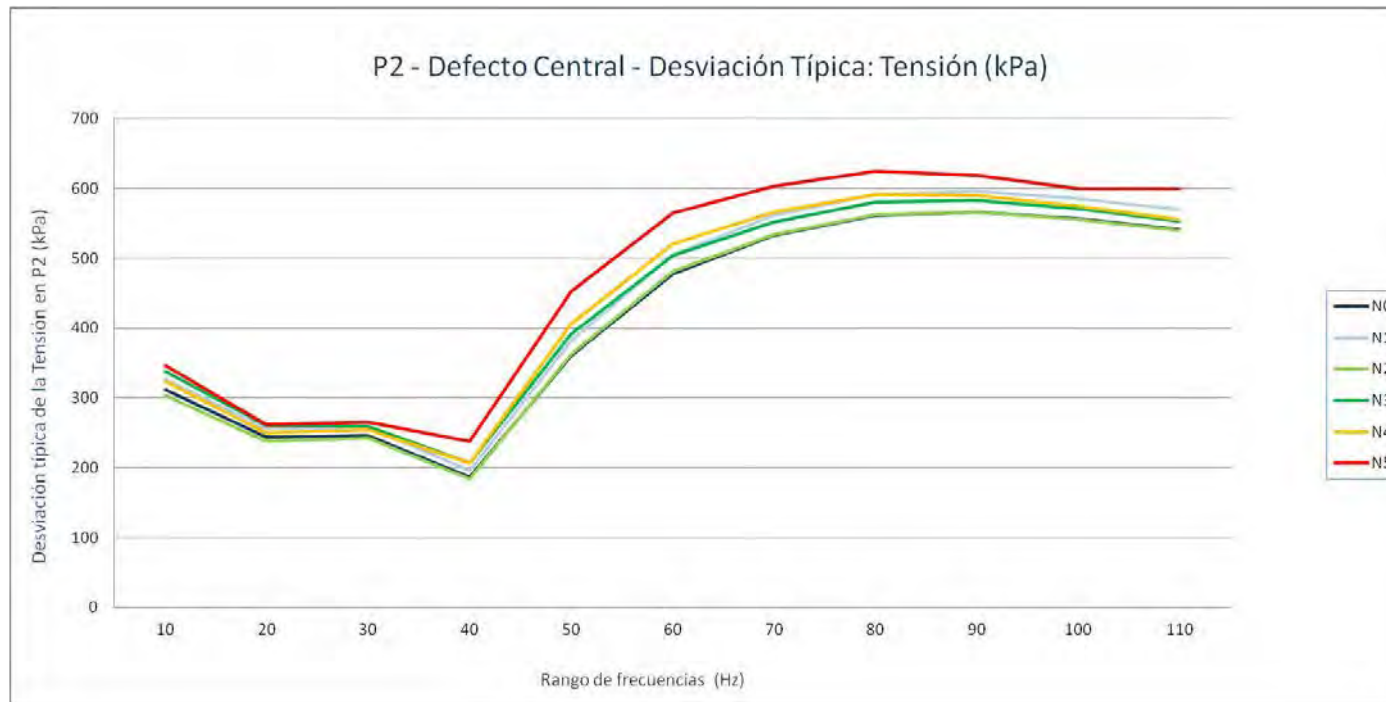
P2. Grieta central - Tensión (kPa): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	97382,4996	59180,9805	60453,0401	34784,7832	130342,695	228700,031	283227,591	315339,372	320854,502	310328,745	293136,22
N1	107344,006	65302,8072	66884,3382	38533,4008	145750,346	254747,704	314710,973	349810,547	355656,743	343262,921	324187,431
N2	92404,3254	56605,2469	59026,9372	33752,8093	132137,778	231459,721	285691,872	317026,327	320909,925	309138,958	291197,006
N3	114334,568	67786,0637	67409,375	42732,567	153701,322	254086,308	304287,472	336382,959	339155,585	326088,061	306404,088
N4	104652,765	62286,6544	64850,2189	42934,5262	165121,964	270965,73	320419,204	349775,238	347943,332	330407,284	308666,329
N5	119766,013	68488,4695	70604,452	56512,4171	205343,119	318843,797	363724,74	390998,684	382384,588	359716,987	359719,865



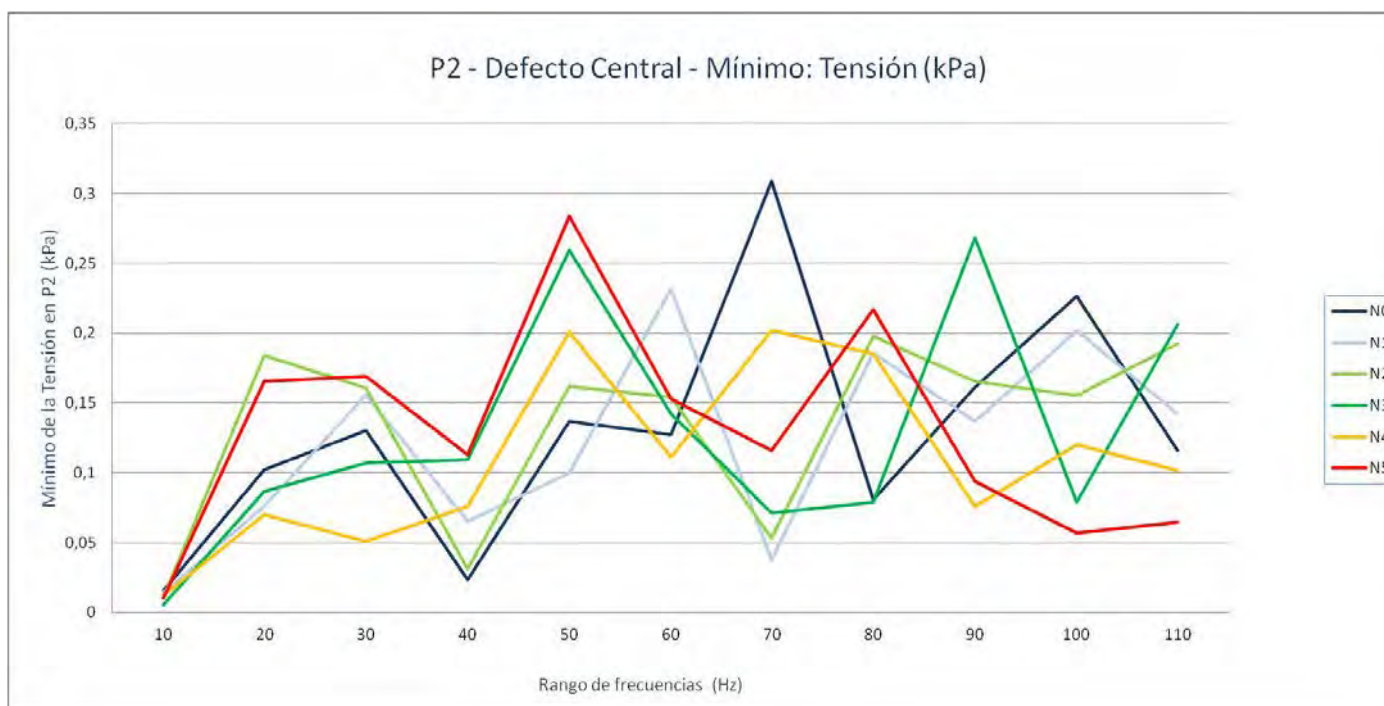
P2. Grieta central - Tensión (kPa): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	312,0616919	243,2714133	245,8719994	186,5067914	361,0300473	478,2259207	532,1913102	561,5508633	566,4402013	557,0715802	541,4205572
N1	327,6339513	255,5441394	258,6200653	196,2992633	381,772637	504,7253752	560,9910635	591,4478395	596,3696362	585,88644	569,3745963
N2	303,9807977	237,9185721	242,954599	183,7193765	363,5076036	481,1026094	534,5015175	563,0509099	566,4891219	556,00266	539,626728
N3	338,1339496	260,3575689	259,6331548	206,7185696	392,0476023	504,0697454	551,6225807	579,9853097	582,3706592	571,0412074	553,5377929
N4	323,5007953	249,572944	254,6570613	207,2064821	406,3520198	520,5436868	566,055831	591,4179896	589,8672155	574,8106507	555,5774732
N5	346,0722659	261,7030178	265,7149826	237,7234046	453,1480106	564,6625516	603,0959629	625,298876	618,3725319	599,7641098	599,7665087



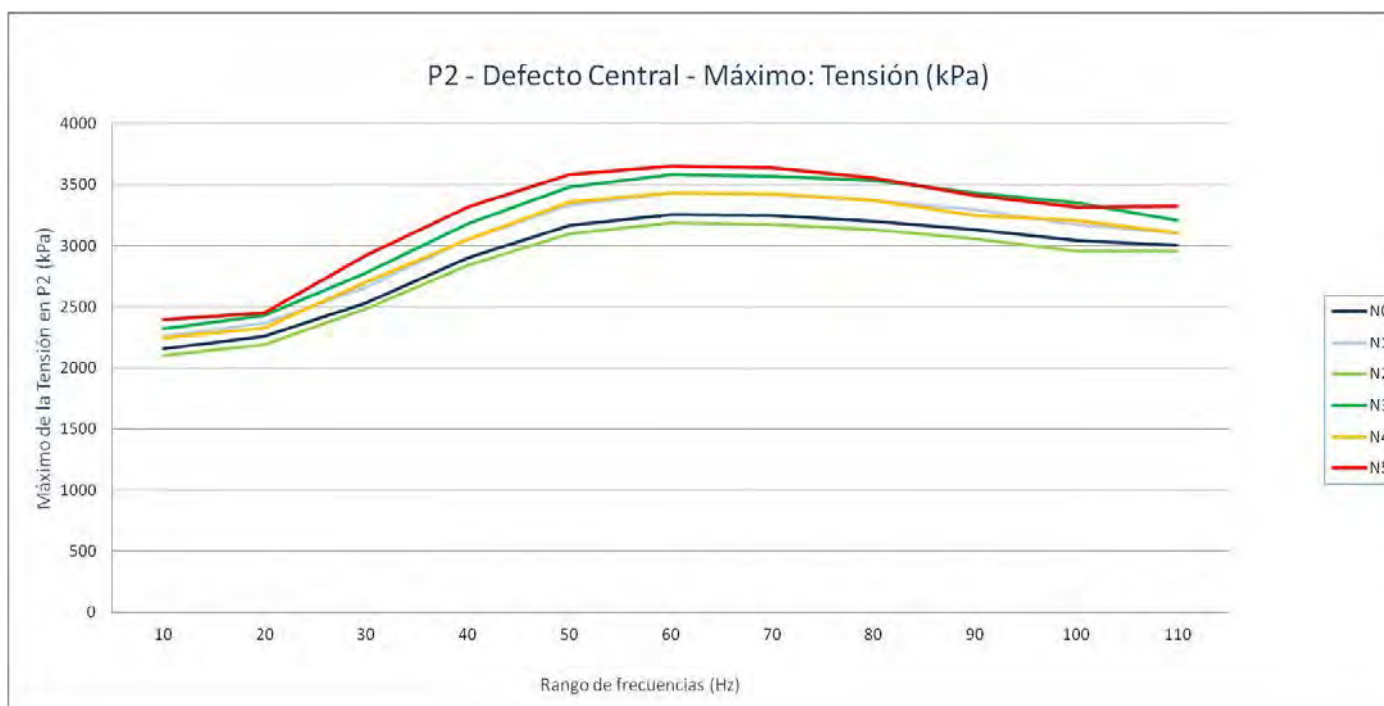
P2. Grieta central - Tensión (kPa): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,01557481	0,102139	0,1303723	0,02337393	0,1365778	0,12699001	0,30891341	0,08092802	0,1614207	0,2262011	0,1159351
N1	0,01422749	0,07571186	0,15612151	0,0650513	0,09985541	0,2320191	0,03781415	0,1854964	0,13660941	0,20165341	0,1419553
N2	0,01085116	0,1838478	0,1606157	0,0310566	0,1620525	0,1544096	0,05348814	0,19791991	0,165783	0,1552497	0,192527
N3	0,00521861	0,08667713	0,1072469	0,1093796	0,2594991	0,1422637	0,07098352	0,0791798	0,26842761	0,07890893	0,20611531
N4	0,01198802	0,07011962	0,05062087	0,07606333	0,20042869	0,1113355	0,2017111	0,18510421	0,07589348	0,1201055	0,1015816
N5	0,01036394	0,1656657	0,1689027	0,1129679	0,28375721	0,1528018	0,115722	0,2165495	0,09394887	0,05653361	0,06479104



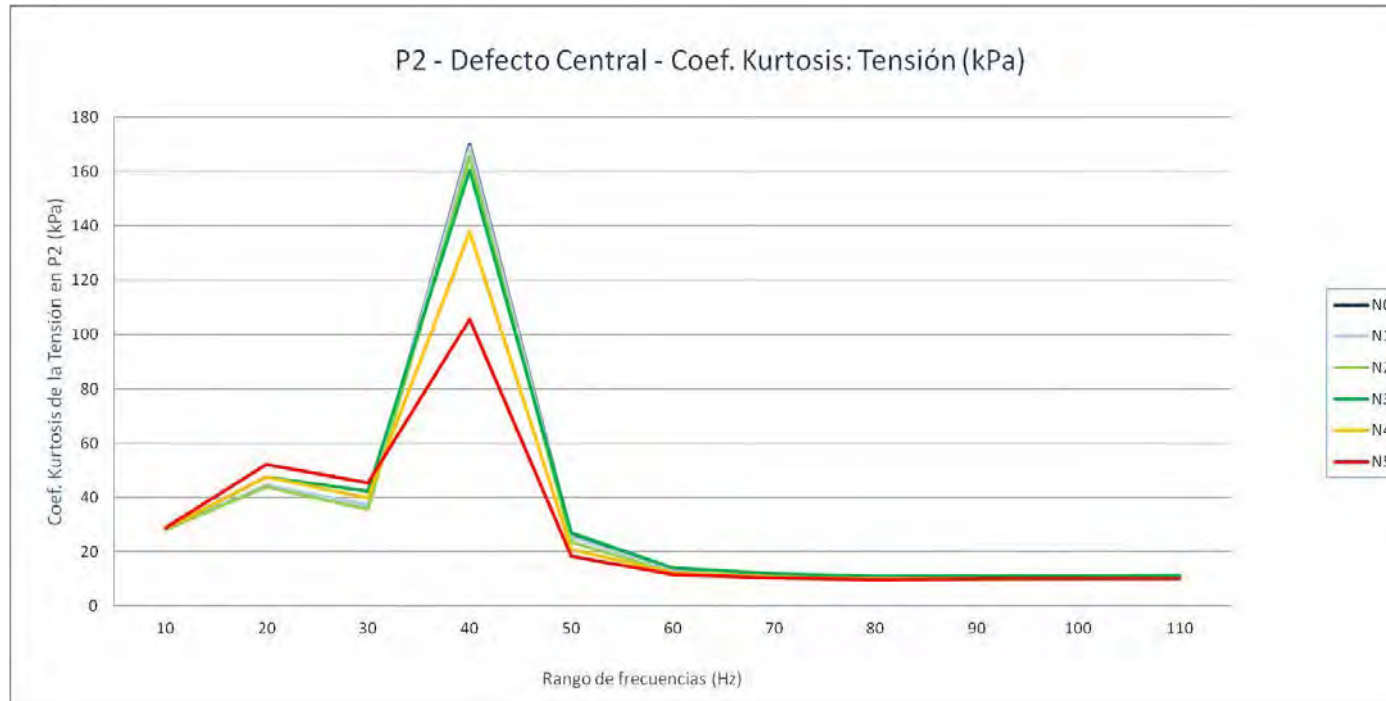
P2. Grieta central - Tensión (kPa): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	2154,448	2260,12402	2530,06494	2902,23096	3165,04907	3259,12598	3249,87598	3200,68896	3135,03003	3041,59302	3001,66895
N1	2260,0249	2368,39111	2661,04395	3053,14893	3331,60498	3430,50098	3418,99902	3369,73193	3296,88501	3176,13599	3104,22998
N2	2101,33594	2194,80908	2482,68091	2837,4751	3100,54102	3188,271	3172,31396	3131,52808	3056,51807	2958,71997	2954,64404
N3	2322,14502	2428,5481	2775,1001	3180,3269	3482,19995	3586,16406	3566,91504	3532,39404	3436,67896	3351,00195	3206,63599
N4	2244,26392	2324,6521	2701,80298	3049,93506	3355,08105	3432,70996	3423,86401	3371,37891	3250,98706	3207,99707	3105,8269
N5	2395,17212	2448,53809	2923,19409	3314,22412	3581,93701	3648,58398	3640,86108	3555,823	3409,48804	3319,35303	3326,77588



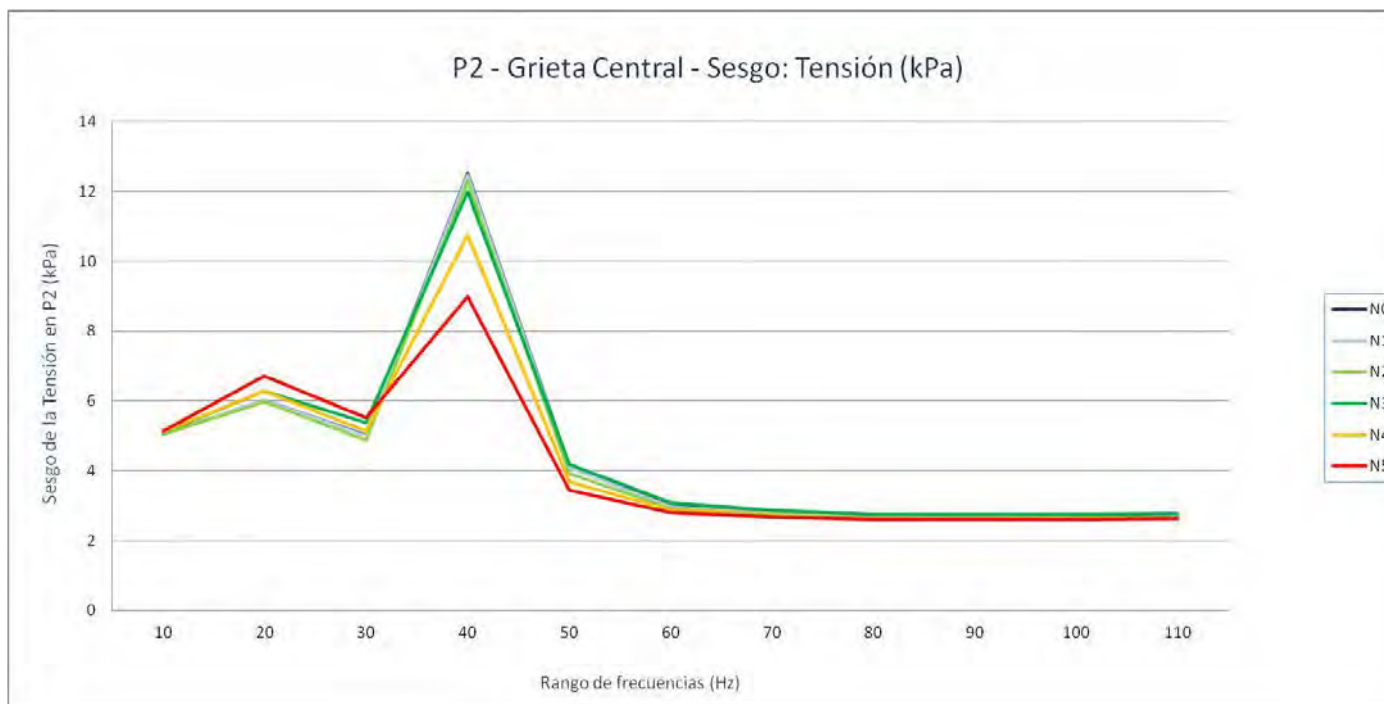
P2. Grieta central - Tensión (kPa): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	28,0804908	44,5601796	37,1740198	170,093498	26,0779673	13,0978125	11,1772557	10,250416	10,174649	10,240578	10,3841249
N1	28,0837144	44,4623749	36,9900651	169,236317	25,5529527	12,9130331	11,0135018	10,0994186	10,0259448	10,0981959	10,2327405
N2	28,1400441	43,9686117	35,6762855	165,482579	23,6214103	12,4034652	10,7877203	9,96885426	9,93064347	9,98403294	10,1031555
N3	28,3867465	47,480517	42,3526374	160,638808	26,9341508	14,2061231	12,0123734	10,9294183	10,9675373	11,0270994	11,2238281
N4	28,6765945	47,5220364	39,8464031	137,8232	20,9352328	12,1595664	10,7329184	9,9738514	10,0491738	10,092416	10,211056
N5	28,7802251	52,1279206	45,5510876	105,560053	18,3363802	11,6255036	10,451588	9,8037168	9,97081814	9,99804175	10,0607415



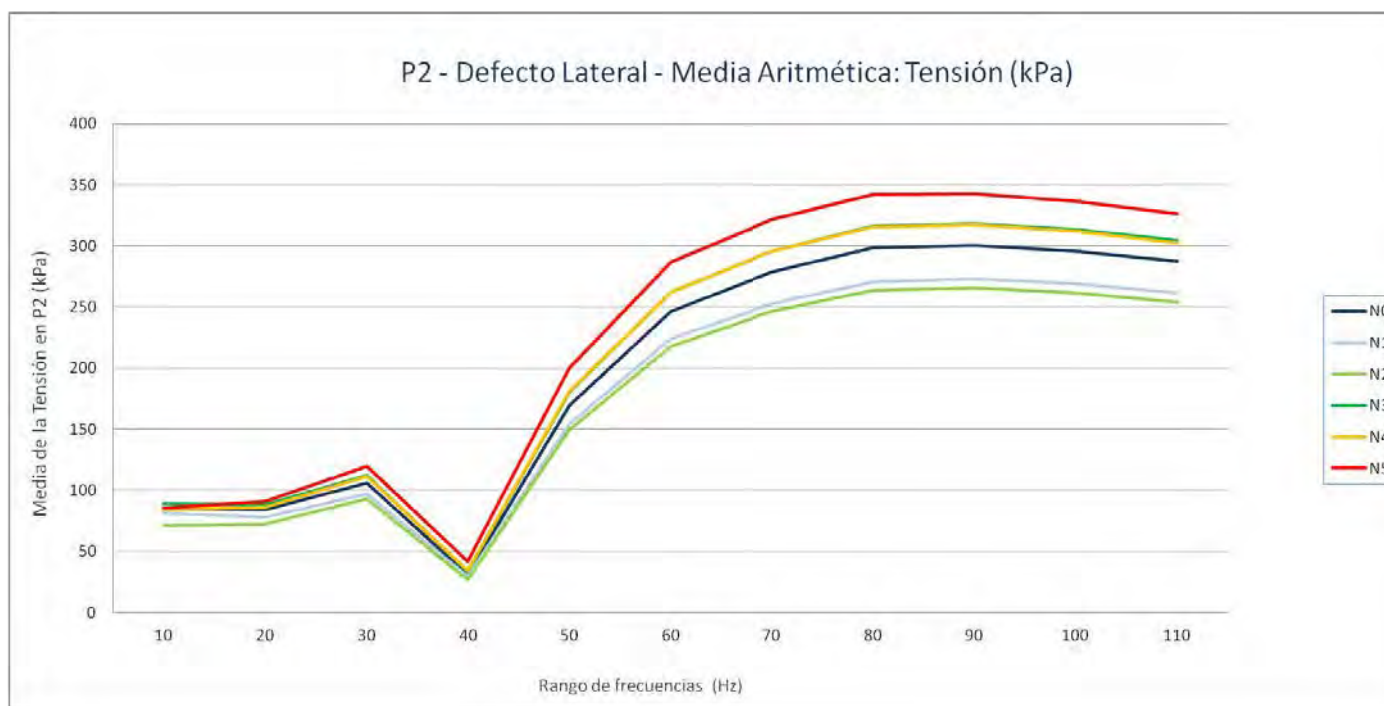
P2. Grieta central - Tensión (kPa): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,03256696	6,02016469	5,01059089	12,5266053	4,13417744	2,98774257	2,7874871	2,67502903	2,67084704	2,67638624	2,69327326
N1	5,03371693	6,01138924	4,99038049	12,4733068	4,08643457	2,96610636	2,76768625	2,65664278	2,65222269	2,65867736	2,67401781
N2	5,0400133	5,96430997	4,88048646	12,2747907	3,92657103	2,91487893	2,7425254	2,64039068	2,63916271	2,64398578	2,6582032
N3	5,08038242	6,28525634	5,38071431	11,9921926	4,19325982	3,08516151	2,86282625	2,74214857	2,75256856	2,75515708	2,77799632
N4	5,11965645	6,28471339	5,14643093	10,7598924	3,68111168	2,86873957	2,71692964	2,62590366	2,63807414	2,64031543	2,65357995
N5	5,13894466	6,71282698	5,52418784	8,97198154	3,43975398	2,79336939	2,66896879	2,59559896	2,61167164	2,61551265	2,62368434



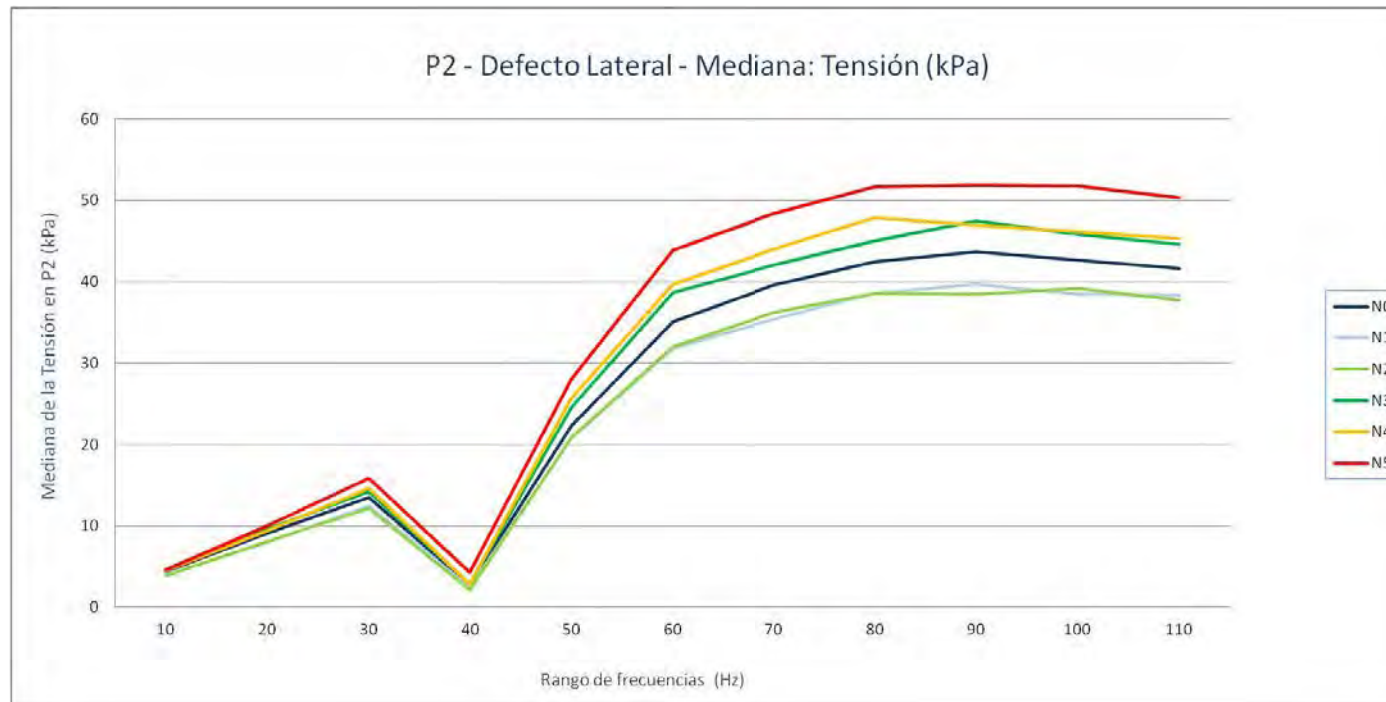
P2. Grieta lateral - Tensión (kPa): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	84,9878236	84,0191896	106,185725	30,7372187	169,245819	246,358948	278,743331	298,258739	300,656421	296,003966	287,595301
N1	81,3122172	77,8815639	97,1344338	29,2560274	154,692426	223,973284	252,52762	270,603609	272,965672	269,421914	261,834775
N2	71,5435146	72,6837135	93,089668	26,6649285	149,453452	217,848134	246,727688	263,939346	265,934316	261,614597	254,121342
N3	89,2898074	88,5542453	112,461424	33,8700152	180,62814	262,287847	295,867504	316,103946	318,284994	313,469661	304,420047
N4	84,4953212	86,4428178	111,328593	34,6959677	181,220879	262,348878	295,880079	315,440618	317,434897	311,826282	302,826595
N5	85,7821574	91,1892262	119,829349	41,9865723	199,86674	286,64563	321,782593	341,900941	343,03494	336,519698	326,16894



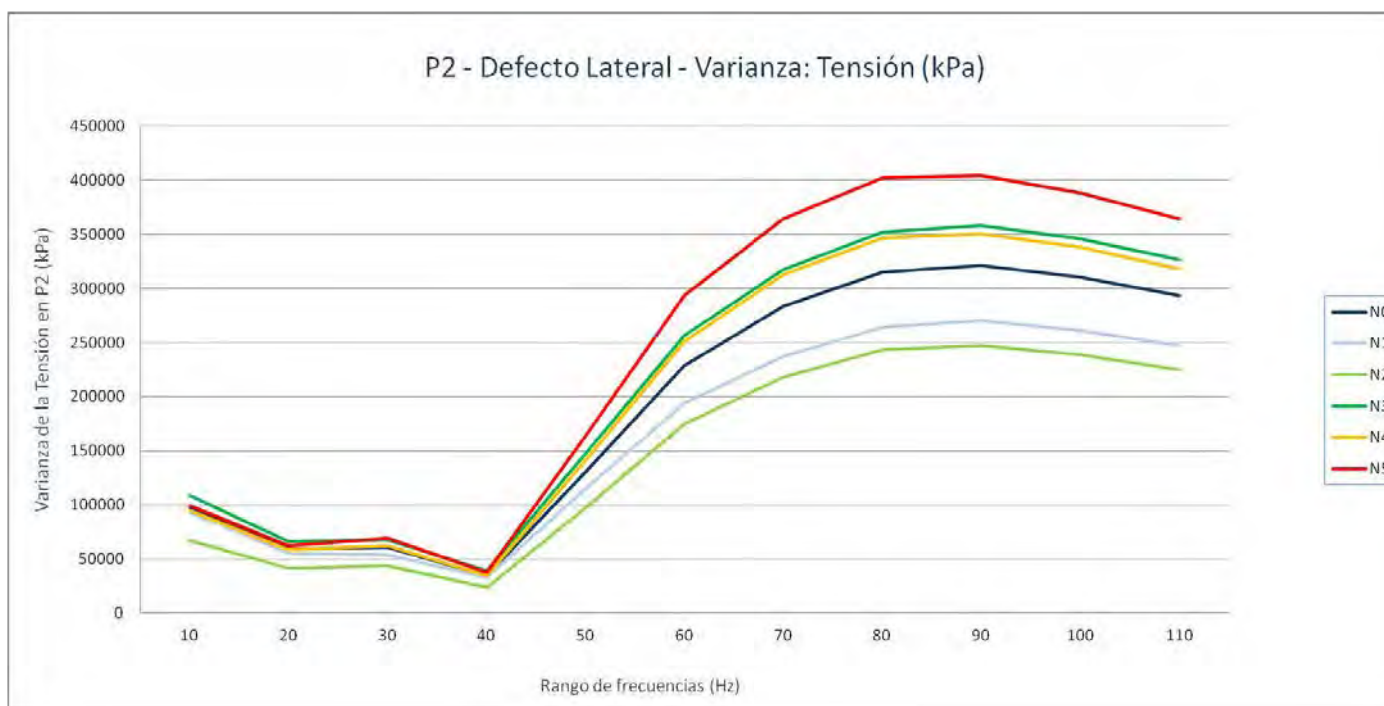
P2. Grieta lateral - Tensión (kPa): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	4,376983881	9,126957417	13,46794987	2,763173938	22,32139492	35,08626556	39,5607605	42,4216404	43,65764427	42,64242935	41,61357117
N1	3,989746094	8,009232998	12,5194602	2,451133966	20,74423981	31,81719017	35,36117554	38,62172508	39,70938492	38,47701073	38,34967422
N2	3,885138512	8,02374649	12,20515966	2,164257526	20,82460499	32,02756977	36,18659592	38,57250595	38,45695496	39,21347046	37,72436523
N3	4,603922844	9,567135811	14,23898029	2,817592978	24,56284046	38,64106941	42,00702477	45,03555107	47,48866463	45,88120079	44,63739586
N4	4,472949028	9,37998867	14,64099026	2,892371893	25,72706985	39,70930099	44,01148987	47,8474884	46,91619873	46,10068893	45,28966904
N5	4,571550131	10,05555487	15,89733982	4,250688076	27,98347473	43,90487671	48,40472031	51,7046051	51,82767487	51,73947525	50,30436897



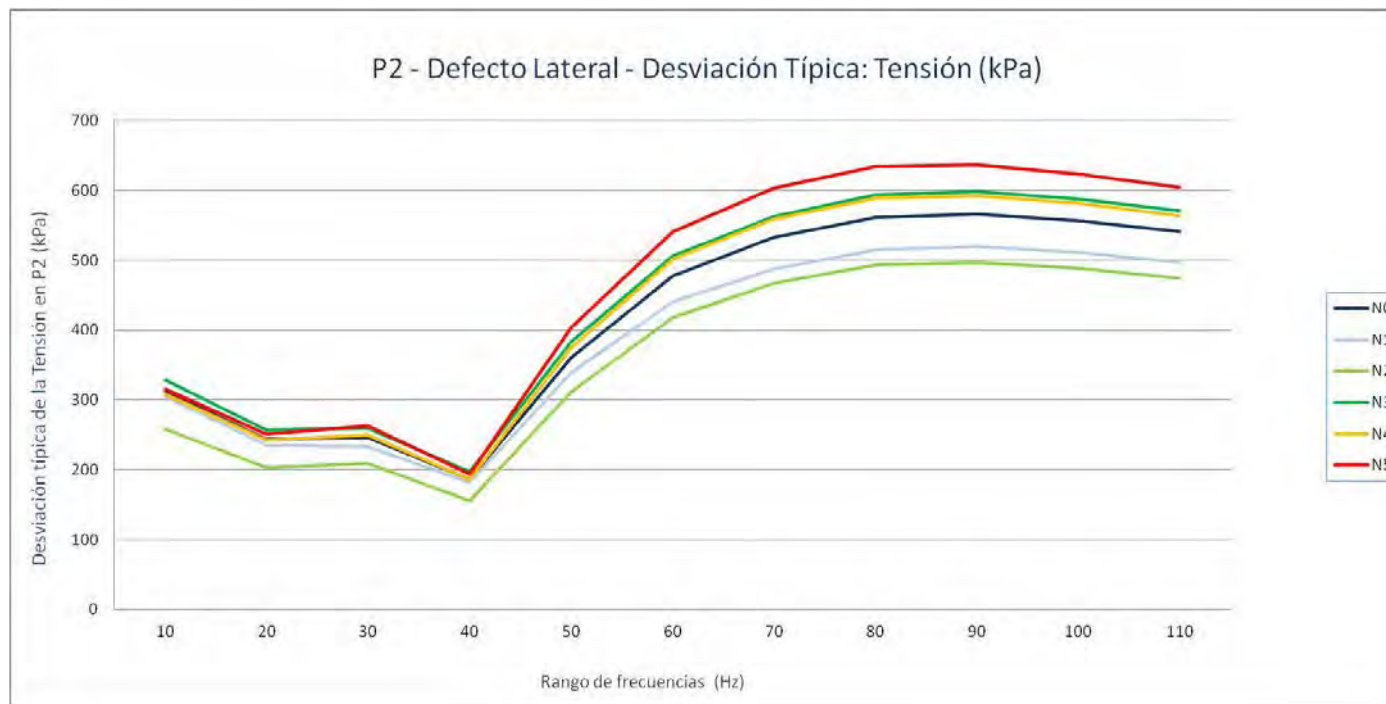
P2. Grieta lateral - Tensión (kPa): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	97382,4996	59180,9805	60453,0401	34784,7832	130342,695	228700,031	283227,591	315339,372	320854,502	310328,745	293136,22
N1	92856,5645	55216,5865	54144,4676	33027,5807	114824,416	194391,995	237408,954	264465,405	270001,161	261328,715	247479,718
N2	66680,1403	41420,0484	43966,6259	24133,5967	97375,3591	174659,761	218174,867	243208,943	247140,779	238448,784	224756,845
N3	108224,469	65825,4246	67418,1667	38877,3652	147089,24	256784,973	317202,883	352329,432	357979,67	345760,54	326415,42
N4	94700,1127	58818,6664	62634,4867	34619,2161	140762,513	251303,426	312929,542	346764,808	350821,379	338157,525	318281,208
N5	99377,5448	62699,4398	69308,552	37592,3538	163438,978	293348,926	364408,401	401934,839	404616,141	388481,647	364623,848



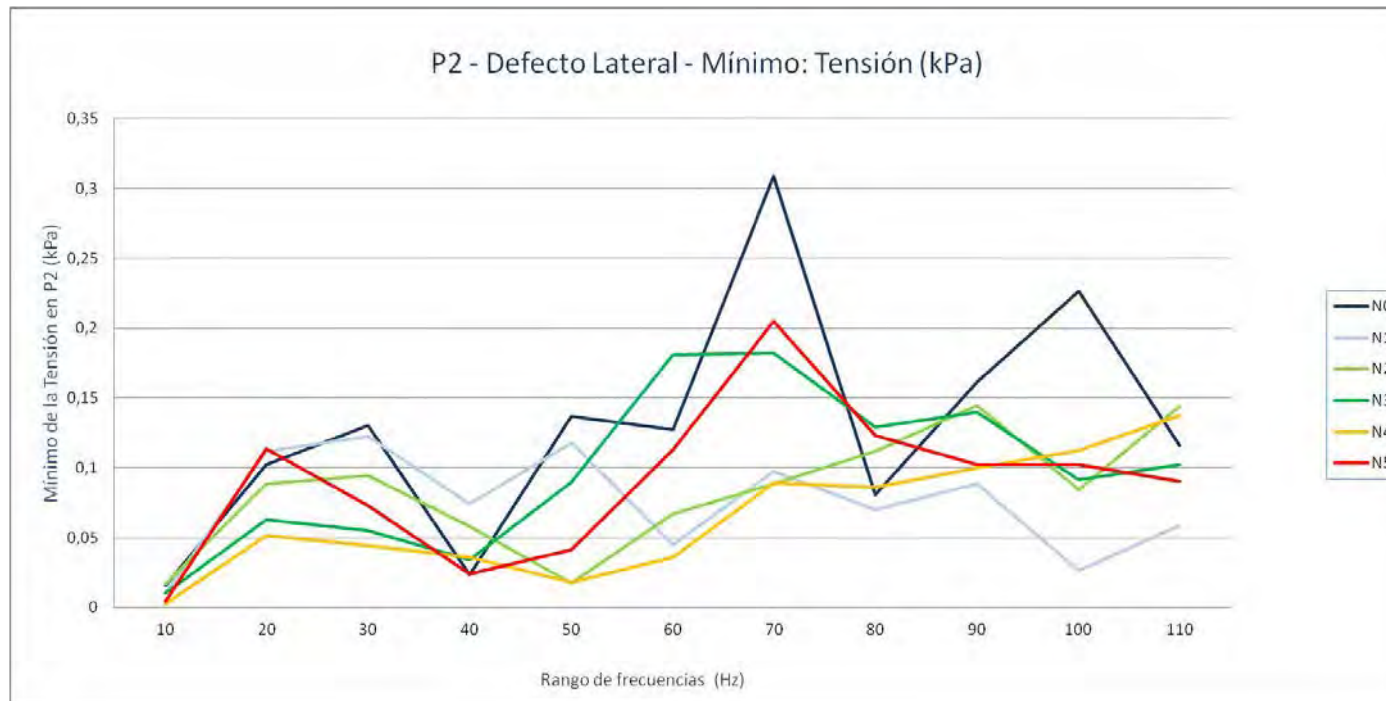
P2. Grieta lateral - Tensión (kPa): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	312,0616919	243,2714133	245,8719994	186,5067914	361,0300473	478,2259207	532,1913102	561,5508633	566,4402013	557,0715802	541,4205572
N1	304,7237511	234,9820983	232,6896379	181,7349187	338,8575163	440,8990762	487,2462973	514,2620006	519,6163595	511,2032032	497,4733336
N2	258,2249801	203,5191597	209,6822022	155,349917	312,0502509	417,9231521	467,0919259	493,1621873	497,1325563	488,3121792	474,0852716
N3	328,9748753	256,5646596	259,6500851	197,1734393	383,5221501	506,7395519	563,2076734	593,5734428	598,3140228	588,0140645	571,3277694
N4	307,7338342	242,5255996	250,2688288	186,0623984	375,1833063	501,3017318	559,4010567	588,8673946	592,301763	581,5131337	564,1641679
N5	315,2420416	250,3985618	263,2651743	193,8874773	404,2758686	541,6169552	603,6624892	633,9833116	636,0944433	623,2829591	603,8409131



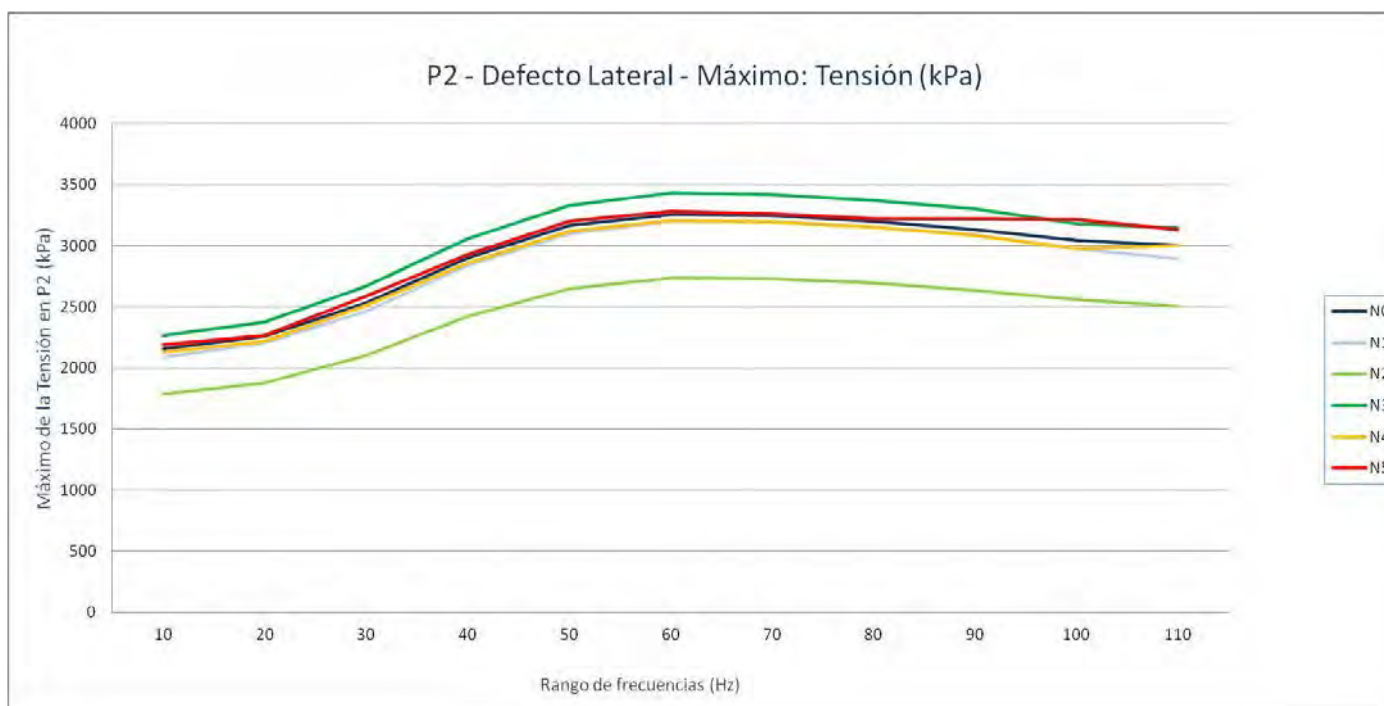
P2. Grieta lateral - Tensión (kPa): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,01557481	0,102139	0,1303723	0,02337393	0,1365778	0,12699001	0,30891341	0,08092802	0,1614207	0,2262011	0,1159351
N1	0,01051751	0,1115823	0,1222582	0,07415778	0,1178382	0,04500885	0,09737501	0,07006249	0,08866084	0,02621199	0,05866945
N2	0,01667622	0,08859625	0,09440577	0,05797467	0,01759709	0,06704484	0,08836538	0,1118315	0,1445614	0,08410356	0,14408471
N3	0,01039736	0,06305942	0,05513281	0,03408326	0,08976711	0,1807134	0,1821332	0,1288555	0,1395632	0,09119106	0,1023972
N4	0,00261126	0,05145233	0,04433171	0,03622971	0,01782587	0,03609204	0,08908925	0,08603982	0,1000808	0,1122257	0,1372783
N5	0,00402544	0,113825	0,07323828	0,02410083	0,0415475	0,1131484	0,2050737	0,1232017	0,1020715	0,1021405	0,09030471



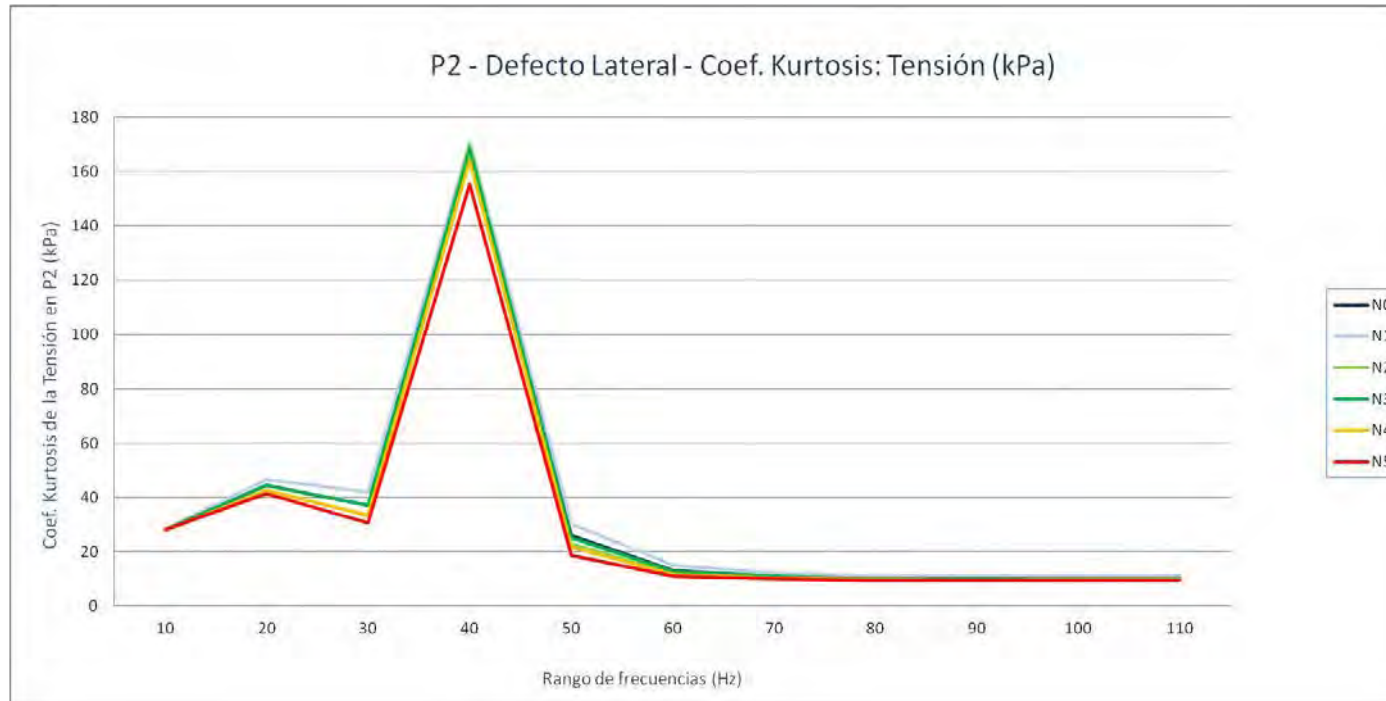
P2. Grieta lateral - Tensión (kPa): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	2154,448	2260,12402	2530,06494	2902,23096	3165,04907	3259,12598	3249,87598	3200,68896	3135,03003	3041,59302	3001,66895
N1	2092,08496	2204,00391	2461,82007	2842,34204	3099,23999	3201,45288	3199,33203	3153,30688	3090,95605	2978,71289	2893,96289
N2	1786,27002	1874,33496	2102,65796	2421,51392	2648,37305	2734,86206	2727,54199	2699,40991	2633,0271	2558,6499	2506,14404
N3	2269,66309	2376,23999	2669,96997	3055,32007	3332,08398	3429,92603	3421,28394	3369,58911	3302,77808	3179,95093	3148,78491
N4	2130,30908	2220,66406	2510,6499	2857,86401	3122,11206	3209,125	3196,38892	3154,18799	3085,12402	2976,18311	3000,4729
N5	2190,69507	2269,13501	2589,2229	2926,57495	3200,28101	3281,49292	3262,1189	3221,71509	3219,03711	3212,49194	3135,31909



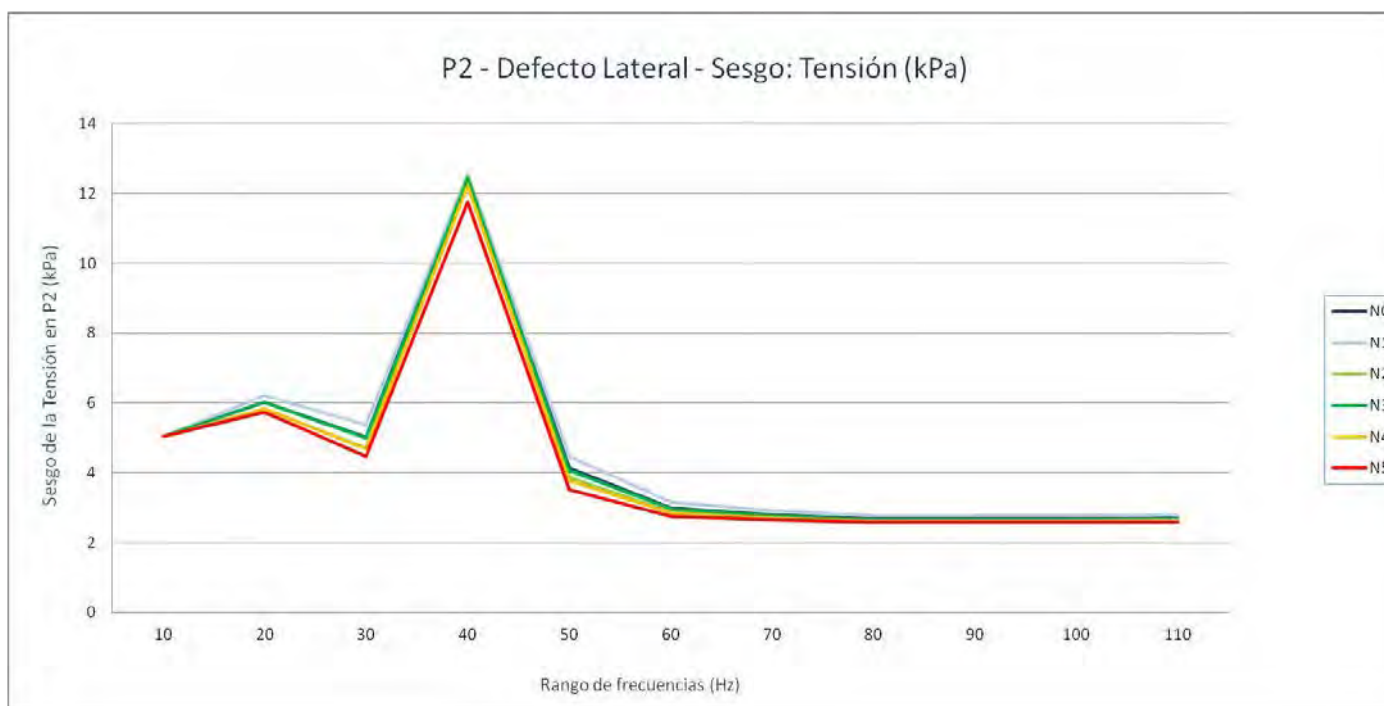
P2. Grieta lateral - Tensión (kPa): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	28,0804908	44,5601796	37,1740198	170,093498	26,0779673	13,0978125	11,1772557	10,250416	10,174649	10,240578	10,3841249
N1	28,1493191	46,7300615	41,9828197	171,146186	30,3060965	14,950105	12,3625576	11,1450309	11,059379	11,1620855	11,350451
N2	27,9601517	42,5301065	33,4347242	169,621249	23,0618995	11,9446548	10,4329236	9,66623874	9,619037	9,64687864	9,72630711
N3	28,0975711	44,4745397	36,9863115	168,223068	25,3075657	12,8690681	11,0083971	10,1065823	10,0335306	10,1060089	10,2500198
N4	28,0535824	42,5783771	33,315883	164,338537	21,8790159	11,7142157	10,3790389	9,67879969	9,63346769	9,67131562	9,7692498
N5	28,1519803	41,3617293	30,6712111	155,283695	18,7898544	10,9221396	10,0397268	9,48534778	9,45530466	9,48467857	9,54679286



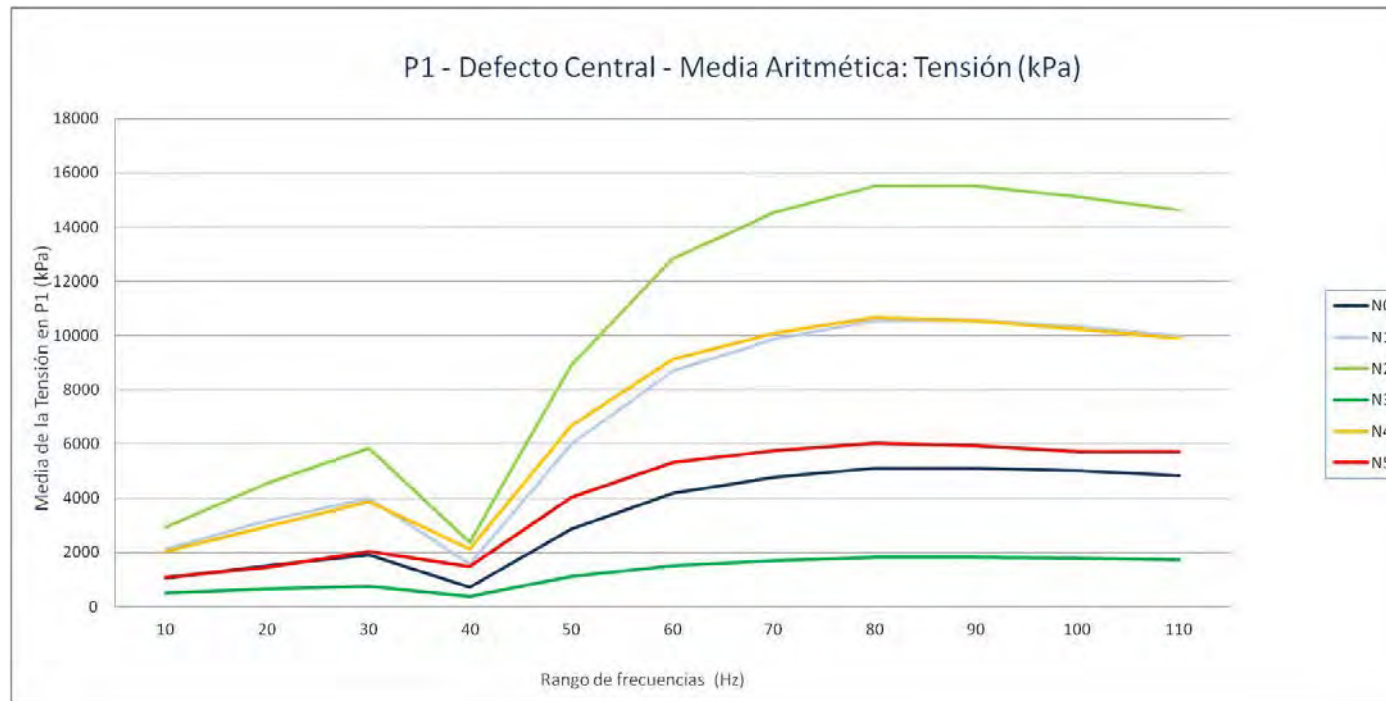
P2. Grieta lateral - Tensión (kPa): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,03256696	6,02016469	5,01059089	12,5266053	4,13417744	2,98774257	2,7874871	2,67502903	2,67084704	2,67638624	2,69327326
N1	5,04682943	6,22131214	5,38686212	12,5695187	4,47404281	3,16654819	2,90865535	2,77302476	2,77119847	2,77884792	2,79990585
N2	5,0149119	5,83279285	4,70742446	12,4840846	3,87509596	2,86678469	2,70529012	2,60732742	2,60507982	2,60527437	2,61451476
N3	5,0355477	6,01339129	4,99087342	12,4327542	4,06864462	2,96298214	2,76773386	2,65744608	2,6530018	2,6597151	2,67653027
N4	5,02672709	5,83884707	4,69579499	12,2314002	3,78104764	2,84567825	2,7001126	2,60856705	2,60535404	2,60870021	2,62072324
N5	5,0379771	5,72731103	4,47636529	11,7535918	3,51262776	2,760297	2,66019992	2,58301157	2,58052114	2,58331853	2,59164745



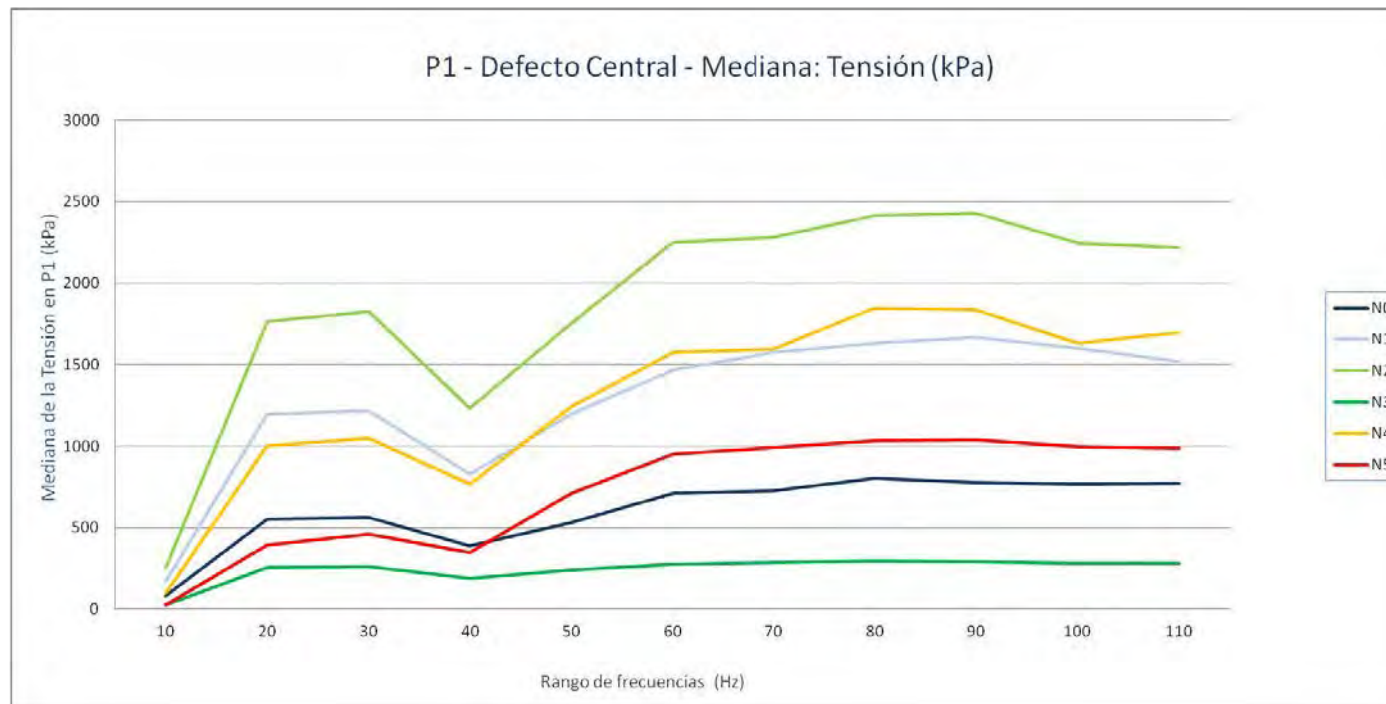
P1. Grieta central - Tensión (kPa): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	1052,95296	1519,11381	1923,90297	730,902729	2880,92789	4198,52592	4775,66409	5121,39579	5121,95341	5013,32549	4845,50446
N1	2136,00858	3162,51869	3993,44725	1563,35853	6001,06799	8693,93513	9863,85443	10550,414	10561,9706	10328,0832	9989,93875
N2	2942,46671	4562,20167	5838,64517	2385,64934	8922,40142	12846,6197	14538,1711	15525,2986	15507,3636	15128,2943	14620,0062
N3	493,922932	641,115209	744,108567	392,478773	1113,21573	1528,03466	1692,7839	1822,14869	1819,46954	1785,78089	1736,58785
N4	2029,2337	2967,6273	3886,35021	2126,67203	6683,14563	9137,99975	10080,9098	10655,0646	10554,6368	10241,893	9885,88124
N5	1092,90912	1445,3086	2044,1908	1470,98822	4033,65403	5320,8566	5750,45241	6017,34032	5930,40652	5731,61024	5716,80752



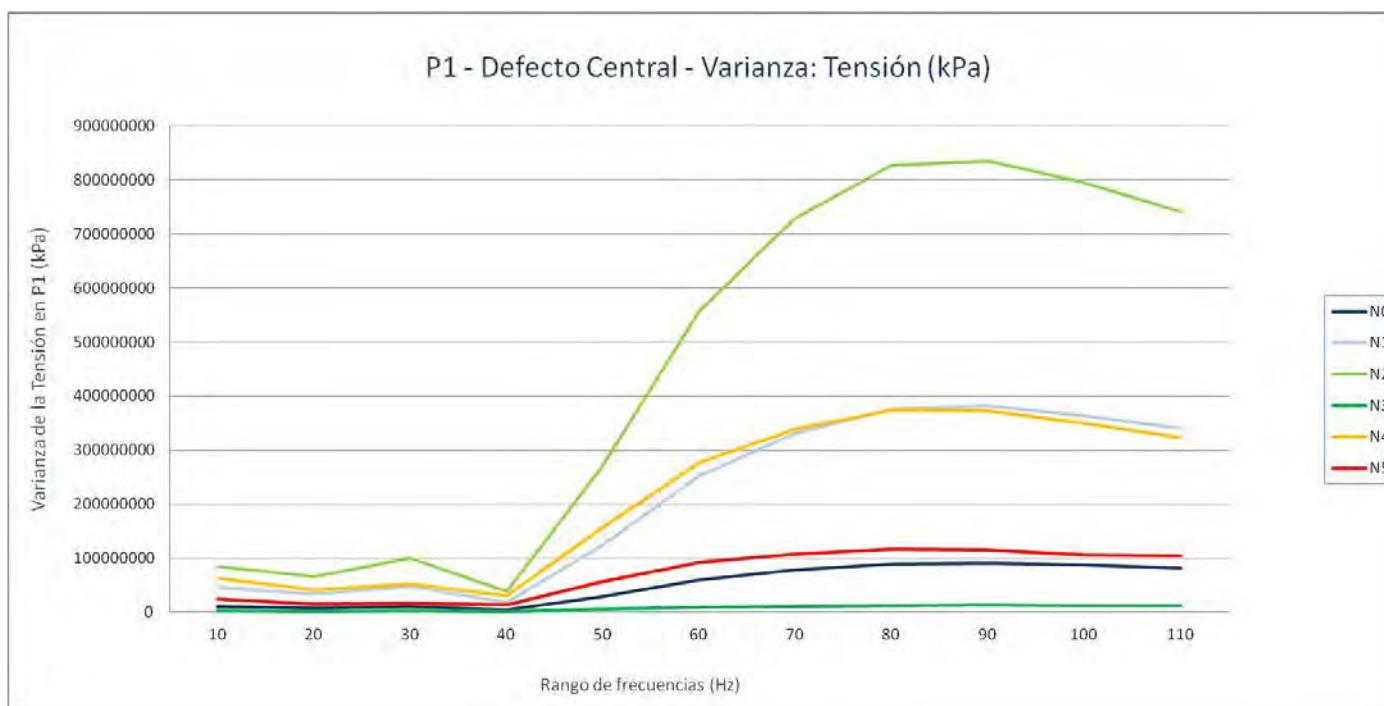
P1. Grieta central - Tensión (kPa): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	82,76543045	551,1578369	562,6092529	390,188858	529,0480042	709,2936096	727,567688	800,9154968	778,2214966	765,412262	771,0833435
N1	169,0255966	1198,248474	1217,416016	829,2697754	1196,255981	1467,702515	1573,933533	1629,381958	1666,434509	1602,455505	1521,142517
N2	250,6902008	1766,70752	1828,564514	1232,285522	1755,834045	2248,559448	2283,928467	2416,359497	2430,641968	2243,639526	2220,024048
N3	27,09457493	257,4880524	260,8800507	191,0703049	241,8002472	276,5158081	287,0508881	296,0001526	291,2594604	282,6597443	279,720993
N4	96,74369812	1002,697998	1050,660034	769,2299805	1240,832031	1573,621948	1597,834961	1844,98999	1835,353027	1629,807983	1697,296021
N5	22,72991943	393,8186035	461,4883118	349,1799927	709,3939819	949,979187	991,0740967	1032,511963	1039,213013	996,8905029	987,9645996



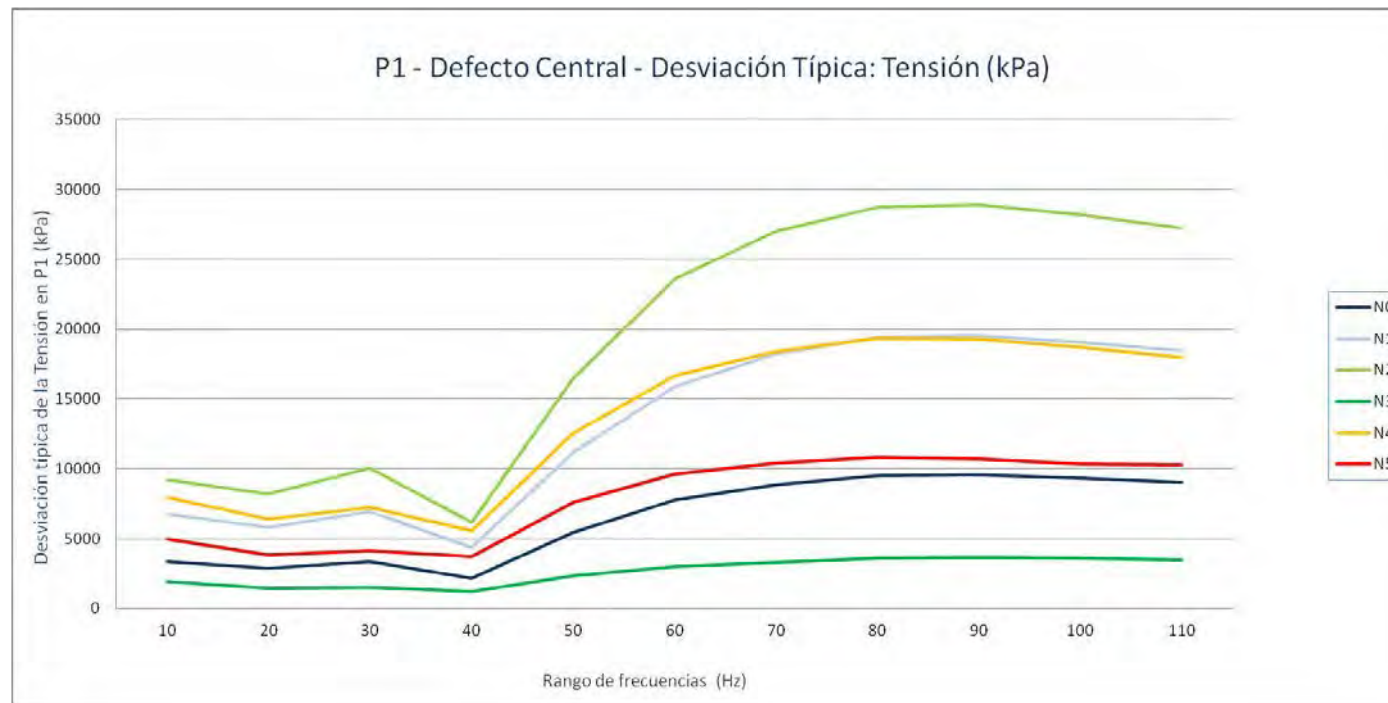
P1. Grieta central - Tensión (kPa): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	11213853,6	8329512,45	11449217,8	4557483,52	29392923,8	59956199,8	78507713,6	89849451,1	91356560,7	86981919,5	81451542,9
N1	45483213,2	33943577,5	47816146,7	19030045,2	124492629	253287197	330973718	376481800	381988776	363939411	340407497
N2	84633363,4	66686381,8	100463153	38237492,6	270968255	556928154	728713094	826689770	835137448	794538987	741642491
N3	3680964,7	2165282,4	2212087,69	1464403,88	5388007,38	9011255,24	10988889,2	12738228,3	13286836,2	12745849,6	12080287
N4	63329356,6	41197977,1	52610884,1	31059264,2	157221086	277532384	338120257	374782601	372565569	349160128	323058318
N5	24546041,7	14558352	17186743,9	13574430,9	57362869,5	92873566,7	107836691	117551382	115010064	106560312	105383509



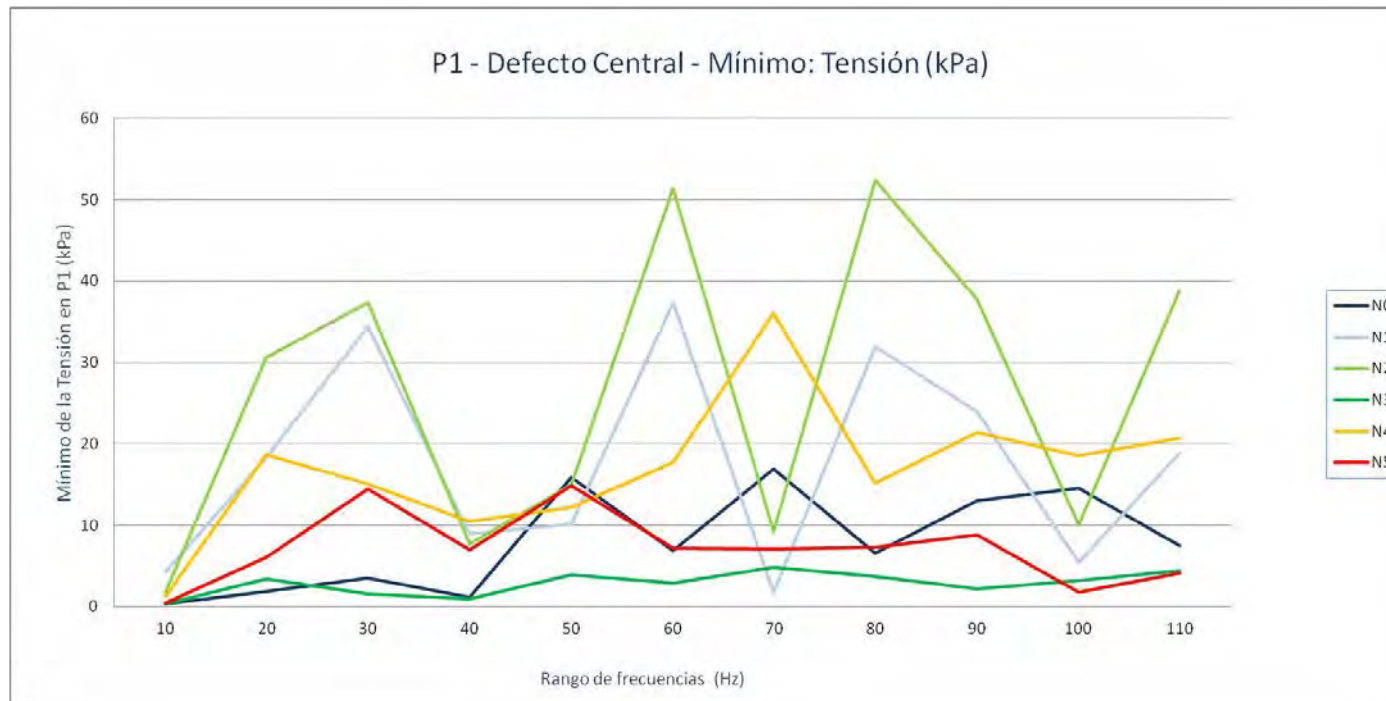
P1. Grieta central - Tensión (kPa): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	3348,709248	2886,089474	3383,669274	2134,826344	5421,524118	7743,138885	8860,457868	9478,895036	9558,0626	9326,409785	9025,050854
N1	6744,124344	5826,111698	6914,922029	4362,344006	11157,62648	15914,99911	18192,68309	19403,13892	19544,53314	19077,19611	18450,13542
N2	9199,639308	8166,173021	10023,13092	6183,647192	16461,11342	23599,32528	26994,6864	28752,21331	28898,74475	28187,56796	27233,11386
N3	1918,584036	1471,489857	1487,308874	1210,125565	2321,208172	3001,875288	3314,949346	3569,065467	3645,111275	3570,132993	3475,670727
N4	7957,974405	6418,565034	7253,336065	5573,083902	12538,78329	16659,30322	18388,04657	19359,3027	19301,95765	18685,82694	17973,82314
N5	4954,396196	3815,540851	4145,689797	3684,349458	7573,827926	9637,09327	10384,44466	10842,11152	10724,2745	10322,80544	10265,64705



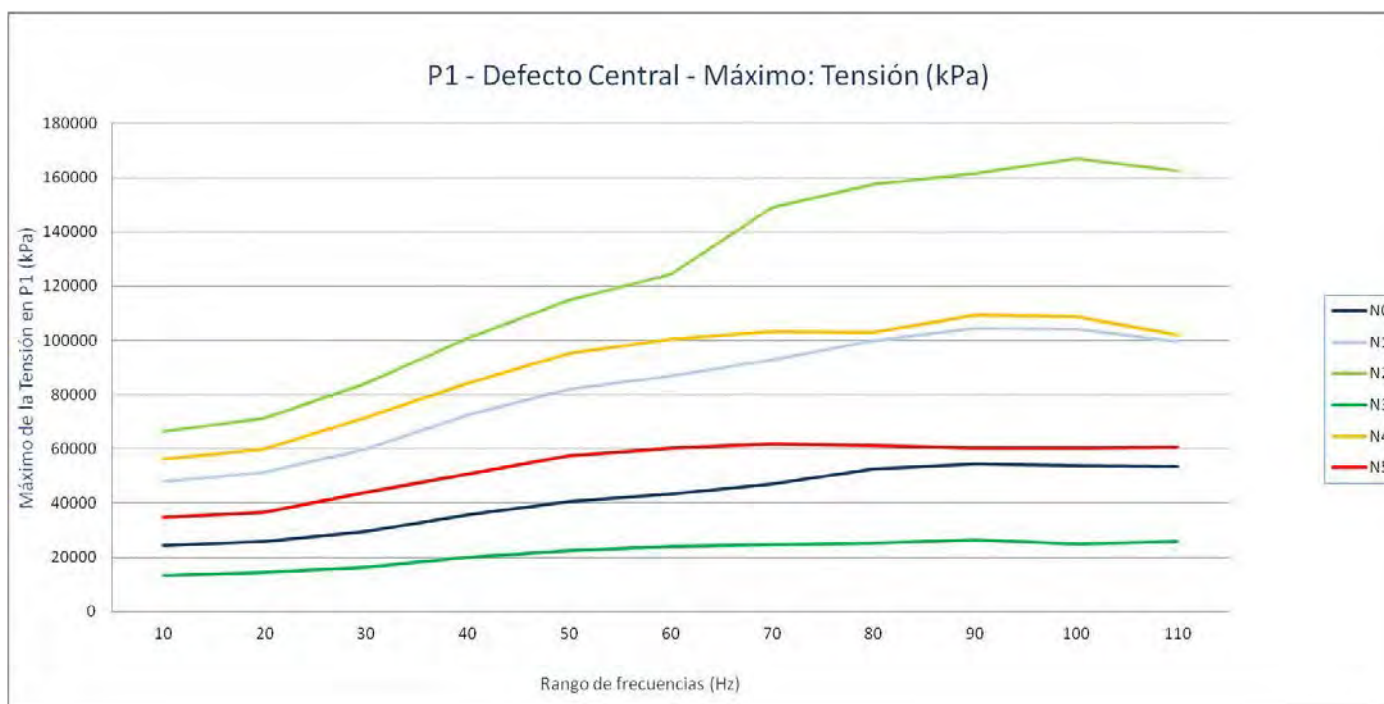
P1. Grieta central - Tensión (kPa): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,3164129	1,82080698	3,53277707	1,18196297	15,9142303	6,90305281	16,8924599	6,53753805	12,9969597	14,5730801	7,46426201
N1	4,16410208	18,3155403	34,4465599	8,92408466	10,1345997	37,3863297	1,75204206	31,9769497	23,9368496	5,48607922	18,8809395
N2	1,74190605	30,5829506	37,3972816	7,70444679	14,9833899	51,4341202	9,24279881	52,4435387	37,7928696	10,0019598	38,7756195
N3	0,34678489	3,36494398	1,59640205	0,97620499	3,94163394	2,92694211	4,83645821	3,66652012	2,18031096	3,16017103	4,41434097
N4	1,23844397	18,6917801	15,0496397	10,4651003	12,2068701	17,7501793	36,0306015	15,1856499	21,3623409	18,5156307	20,6631107
N5	0,40717071	6,06318283	14,48666	7,01447487	14,8449402	7,15704584	7,1246438	7,25205517	8,86677647	1,72380805	4,14116287



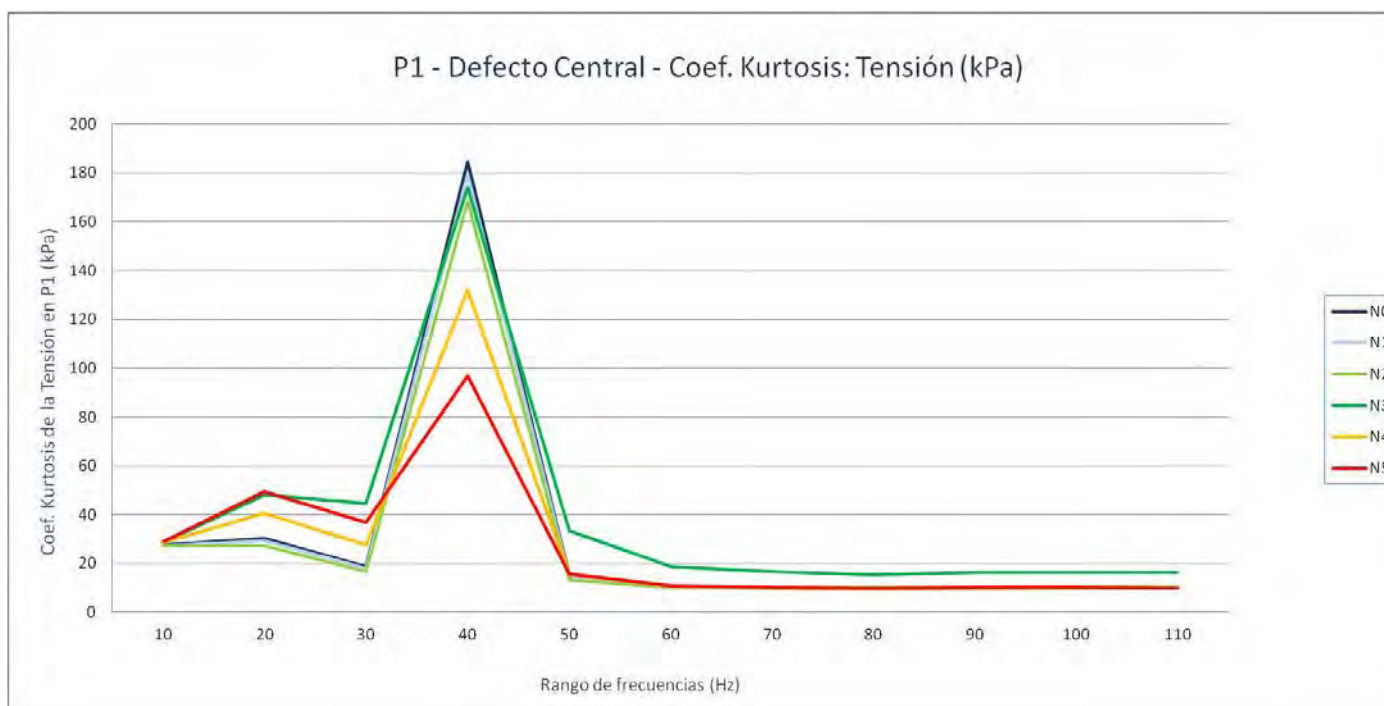
P1. Grieta central - Tensión (kPa): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	24185,3105	25896,9492	29448,8105	35761,2305	40669,3281	43265,6602	46975,5391	52666,2305	54401,0391	53710,9609	53350,0391
N1	48011,6992	51438,9102	59792,4414	72497,0781	82159,2969	86963,8281	92642,2422	99888,7813	104474	104145,297	99544,5938
N2	66253,3984	71285,4609	84137,8516	100888,102	114822,102	124514,703	148970	157502,797	161504,203	167062	162497,5
N3	13177,3096	14347,1201	16324,9004	19971,0801	22386,5	23893,0195	24632,4609	25178,6504	26374,3203	24936,6895	25750,9707
N4	56216,3789	60066,4297	71462,5234	84301,8672	95262,8125	100426,5	103333,5	102893,5	109414,703	108794,398	101950,297
N5	34637,4805	36596,0781	43906,3398	50853,1992	57349,1992	60288,1602	61631,4688	61099,8281	60364,2383	60348,8984	60524,2891



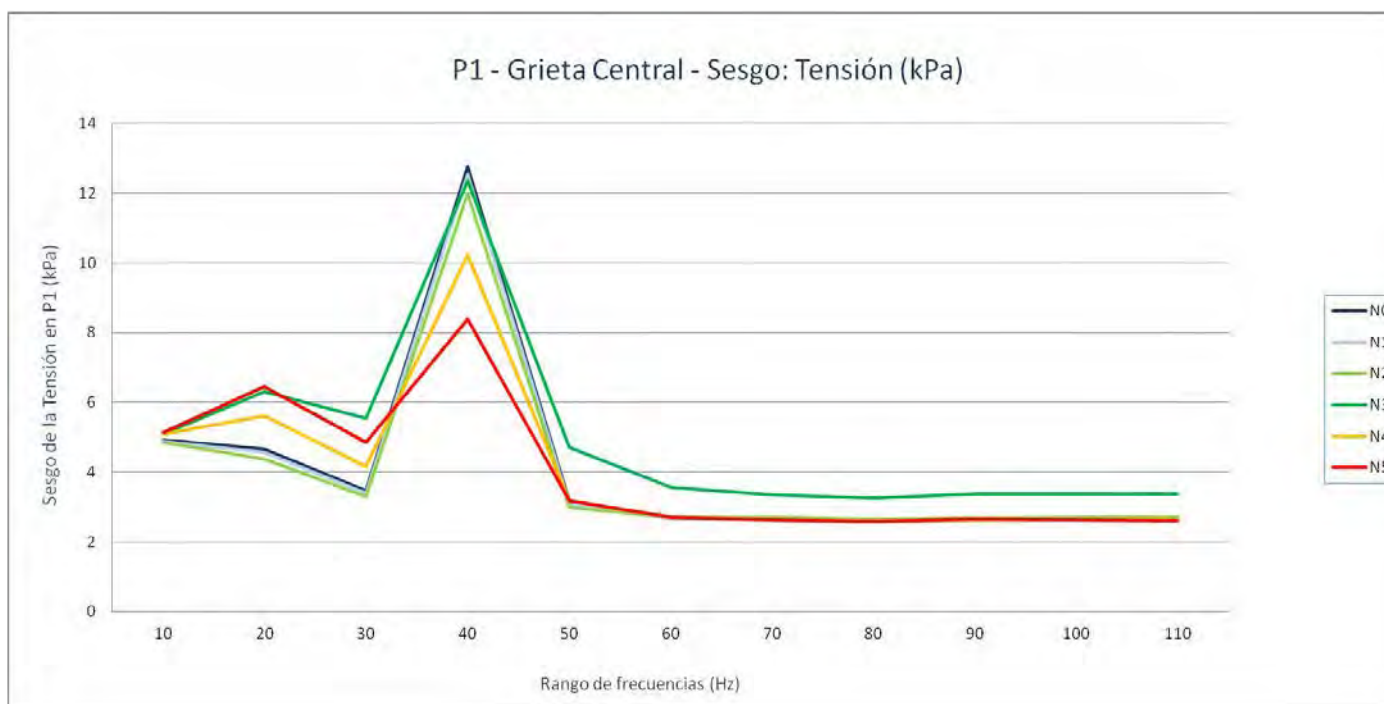
P1. Grieta central - Tensión (kPa): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	27,6385898	30,2676831	18,5852223	184,565912	15,0847798	10,3232717	10,0965206	9,81530872	10,1378605	10,354291	10,4391232
N1	27,1080218	29,3531523	18,0752973	179,423347	14,3282142	9,94727657	9,72719433	9,4140936	9,65793237	9,80687539	9,84873663
N2	27,1485163	27,2151722	16,7143207	168,641038	13,191663	10,2537737	10,3208876	10,0493562	10,2878852	10,4704753	10,536266
N3	28,4899669	48,1358302	44,6266288	173,91943	33,479591	18,8457582	16,5672622	15,3939173	16,27342	16,4525898	16,3929022
N4	28,6048099	40,5132937	27,5388996	132,07641	15,543993	10,571542	10,0183574	9,64330385	9,9801315	10,0115592	10,0063321
N5	28,8678567	49,5824142	36,9830664	96,9951465	15,5396377	10,8499127	10,1794392	9,79464654	10,2190387	10,1821908	9,95671611



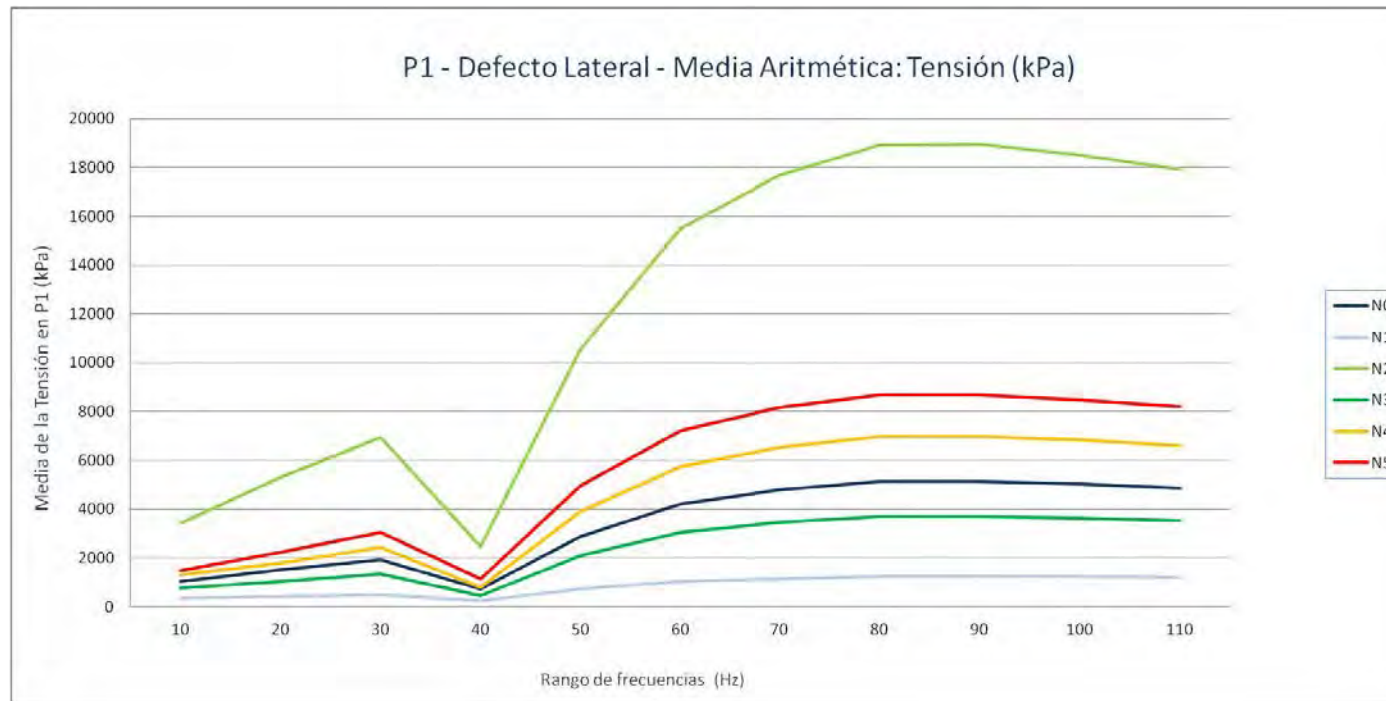
P1. Grieta central - Tensión (kPa): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	4,91592881	4,65950474	3,45728312	12,7669455	3,16683812	2,69397344	2,6659037	2,6238843	2,67005876	2,6879345	2,69318403
N1	4,86777486	4,57235796	3,40224514	12,543473	3,09506721	2,65393707	2,62648743	2,57971199	2,61641959	2,62867563	2,6310269
N2	4,86323026	4,37409186	3,29607046	11,9834808	2,99601595	2,69132162	2,69609164	2,6549243	2,69047454	2,70768402	2,71104753
N3	5,09098494	6,30877209	5,54720748	12,360234	4,71744832	3,5551939	3,35011491	3,26035946	3,3689422	3,3737748	3,37421529
N4	5,09844949	5,60495829	4,15356001	10,2353429	3,19107223	2,7012971	2,63806678	2,58924038	2,63638653	2,63279086	2,62608041
N5	5,14372213	6,44220468	4,85280456	8,38448836	3,17625352	2,7104191	2,63643098	2,5937292	2,64460373	2,63409666	2,60774332



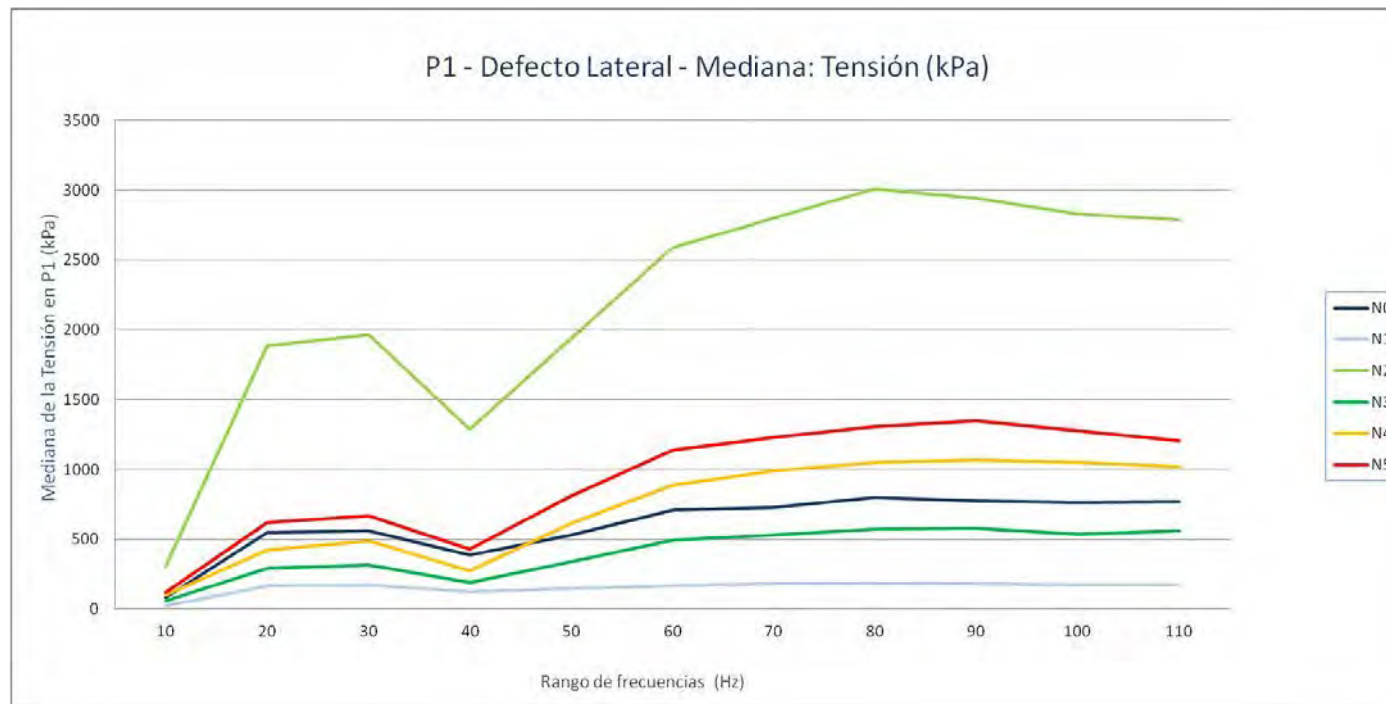
P1. Grieta lateral - Tensión (kPa): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	1052,95296	1519,11381	1923,90297	730,902729	2880,92789	4198,52592	4775,66409	5121,39579	5121,95341	5013,32549	4845,50446
N1	351,418422	436,983031	506,719051	249,159075	725,154351	1023,24777	1147,79936	1245,8079	1256,80207	1242,67097	1213,89072
N2	3440,2925	5310,78453	6929,32934	2484,3001	10565,489	15510,1807	17695,1641	18907,1182	18936,4606	18498,5912	17922,4809
N3	765,017493	1022,28226	1331,65834	458,233826	2080,55495	3042,05274	3458,01994	3704,92746	3712,08955	3634,97894	3515,19097
N4	1292,36184	1792,16577	2421,552	786,301878	3898,29383	5727,22865	6534,3027	6985,40757	6982,73952	6828,64639	6608,7492
N5	1477,46214	2233,50566	3049,86615	1142,09877	4951,00817	7208,18704	8177,38418	8693,97942	8694,96841	8478,8259	8185,99902



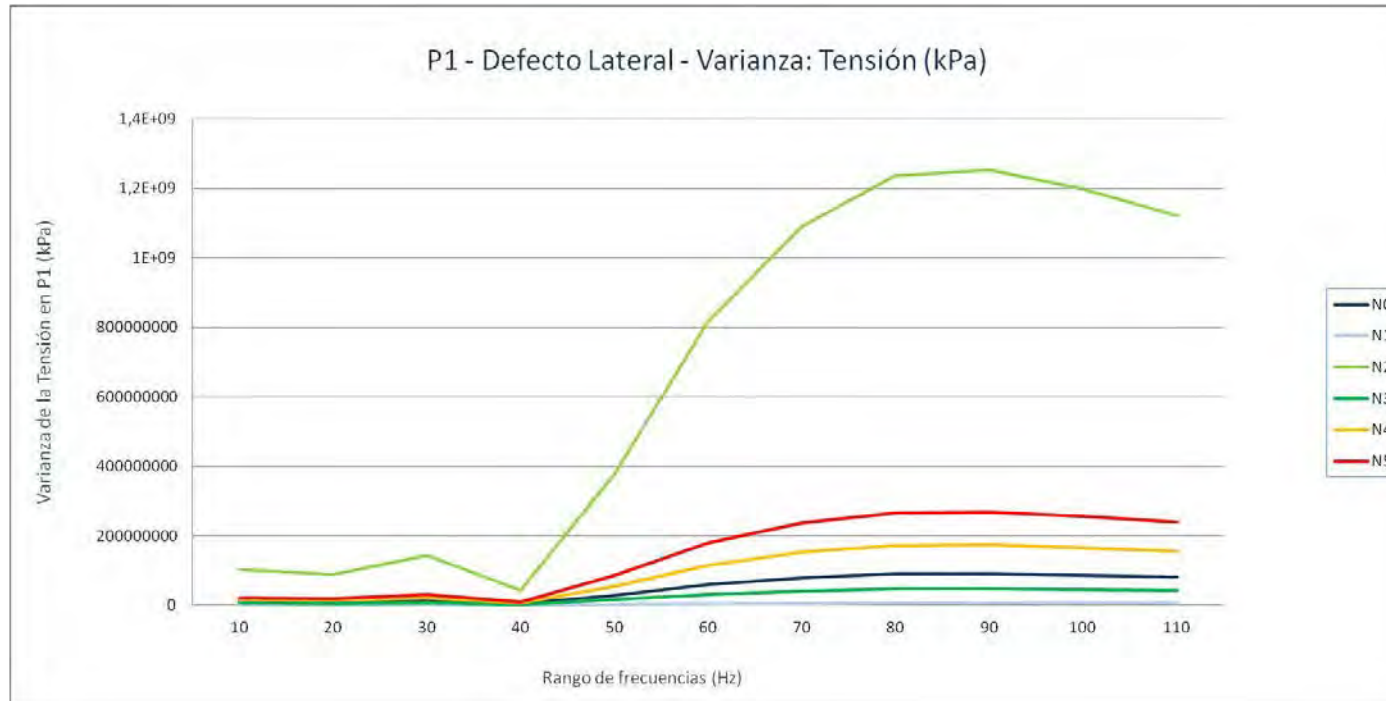
P1. Grieta lateral - Tensión (kPa): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	82,76543045	551,1578369	562,6092529	390,188858	529,0480042	709,2936096	727,567688	800,9154968	778,2214966	765,412262	771,0833435
N1	20,85725975	165,9335022	171,7346039	121,8794479	150,8703003	169,1514969	182,7121506	186,8740997	183,0065002	175,0138016	172,3606491
N2	305,4437103	1884,147522	1966,204468	1287,330505	1939,86853	2587,793945	2799,029907	3006,627441	2940,899536	2829,657959	2786,839478
N3	58,6856308	289,2051392	312,9253998	192,7531052	340,5967407	492,8101959	528,6242065	574,8880005	580,7546997	538,8806458	563,2611389
N4	101,9222031	422,8299866	488,0307007	274,9327087	615,880127	891,1497803	992,7886963	1050,219971	1066,891968	1048,359985	1020,744019
N5	116,7348022	623,0411377	668,2721558	431,45401	814,1661377	1139,896973	1227,705994	1306,241455	1346,221985	1278,94751	1205,94751



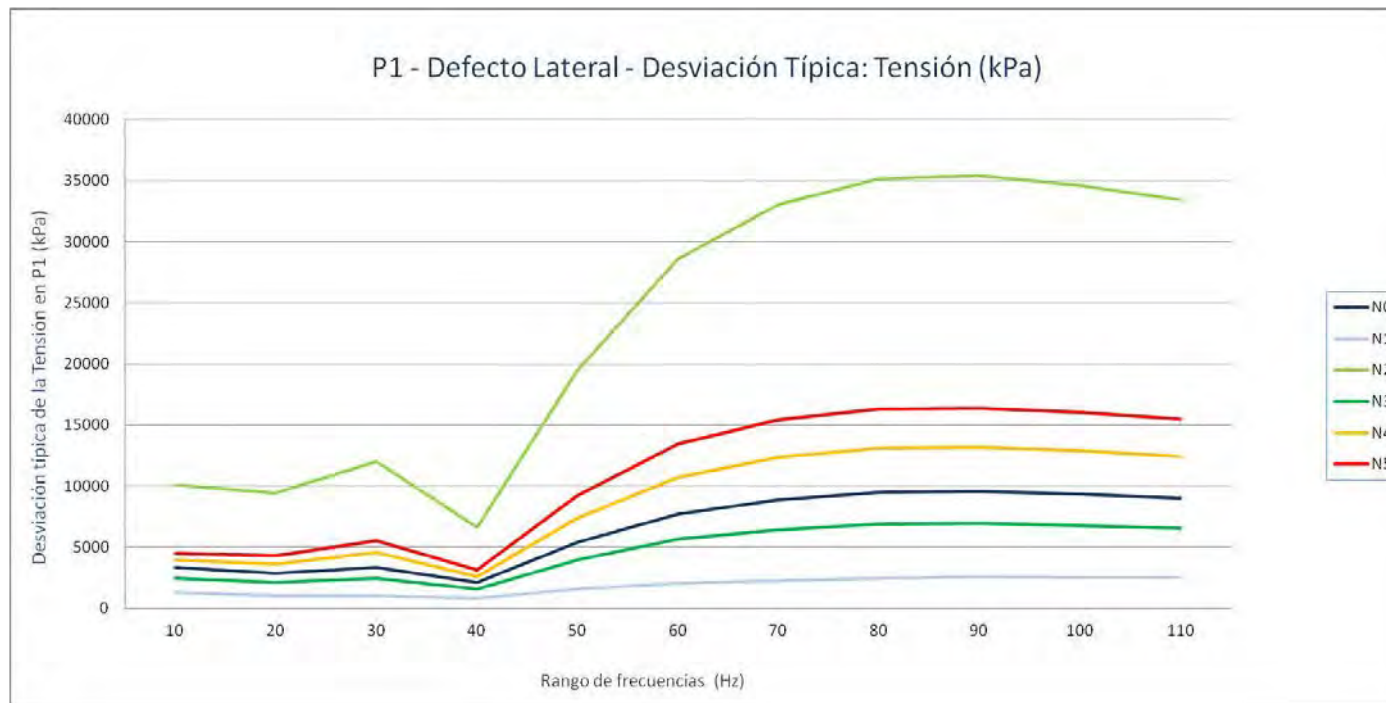
P1. Grieta lateral - Tensión (kPa): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	11213853,6	8329512,45	11449217,8	4557483,52	29392923,8	59956199,8	78507713,6	89849451,1	91356560,7	86981919,5	81451542,9
N1	1708216,42	1018709,55	1048057,43	670146,689	2454251,25	4194063,53	5241972,75	6233021,54	6660932,45	6515713,02	6272223,01
N2	101938089	88953486,5	143787896	43806797,2	377728316	817658270	1091378347	1237242712	1253172087	1198969828	1120355563
N3	6071574,24	4485129,52	6173756,61	2502279,63	15939497,7	31941876,9	41562544,4	47322595,8	48136776,5	45988163,9	43159893,2
N4	15812356,7	13289670,9	20703258,1	6866853,68	54424161,6	114976718	152109188	171699521	173726346	166058968	155308288
N5	20681616,6	18514238,5	30996441,6	9921258,26	85572729,3	180499869	237850964	266831424	268353374	256440408	239548919



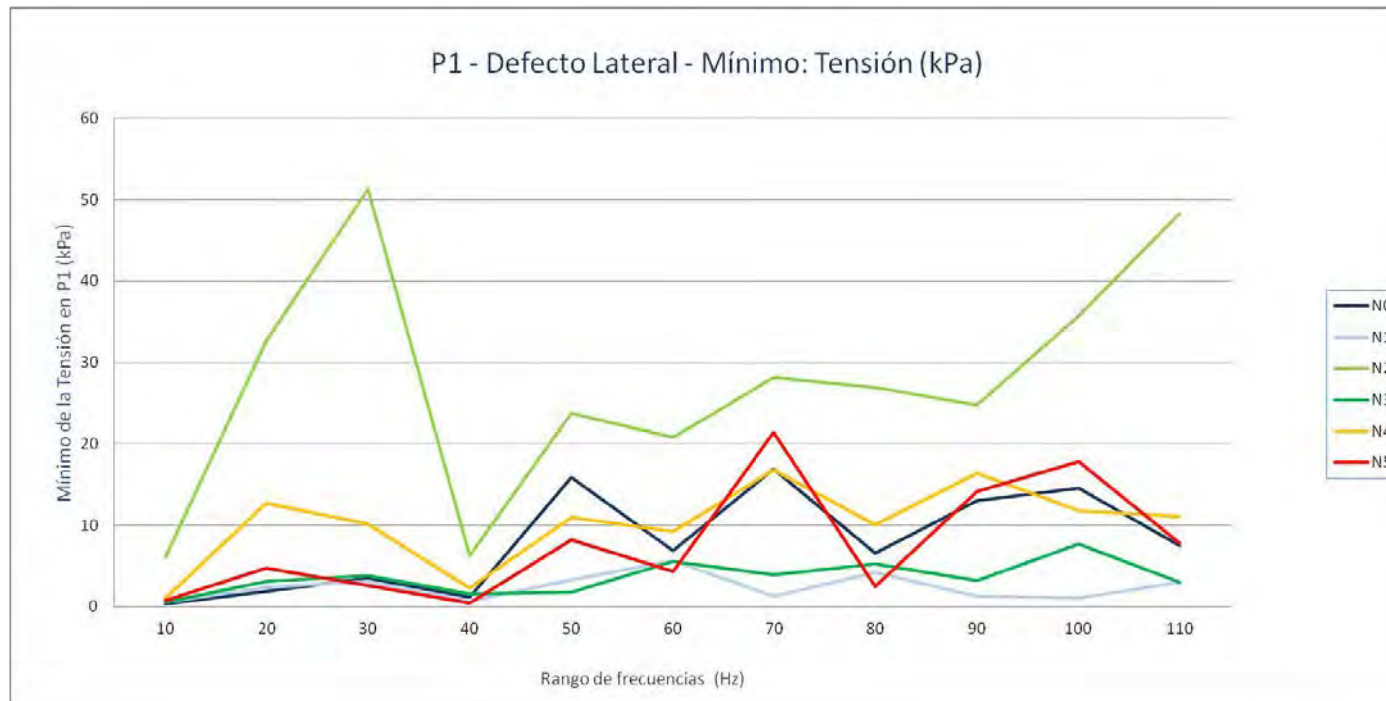
P1. Grieta lateral - Tensión (kPa): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	3348,709248	2886,089474	3383,669274	2134,826344	5421,524118	7743,138885	8860,457868	9478,895036	9558,0626	9326,409785	9025,050854
N1	1306,987535	1009,311424	1023,746759	818,624877	1566,605009	2047,94129	2289,535488	2496,601999	2580,878233	2552,589473	2504,440658
N2	10096,43941	9431,515601	11991,15909	6618,670348	19435,23389	28594,72452	33036,01591	35174,46107	35400,17072	34626,14371	33471,71288
N3	2464,05646	2117,812439	2484,704533	1581,859548	3992,430051	5651,714509	6446,90192	6879,142081	6938,067199	6781,457361	6569,618954
N4	3976,475417	3645,500083	4550,083311	2620,468218	7377,273317	10722,71971	12333,25537	13103,41638	13180,52906	12886,38692	12462,27458
N5	4547,704541	4302,817506	5567,444803	3149,802893	9250,552917	13435,02397	15422,41759	16334,97547	16381,49487	16013,75683	15477,36795



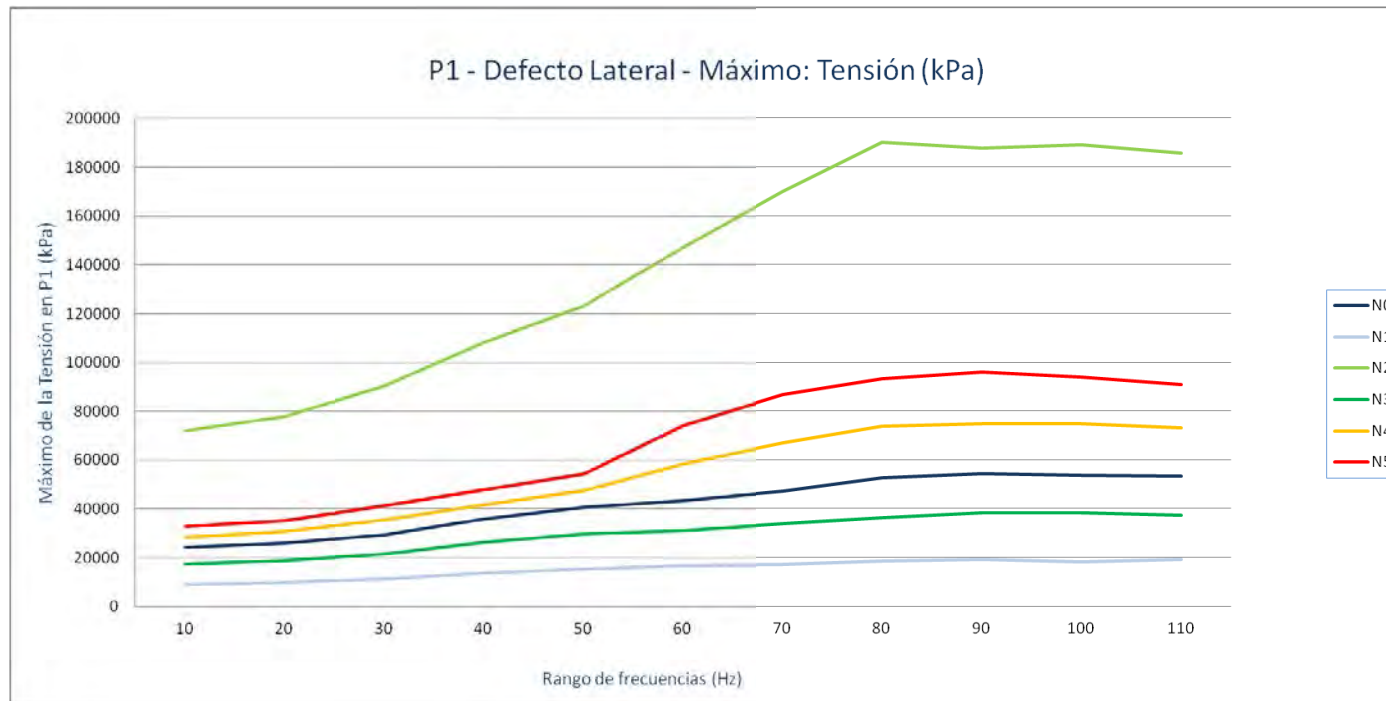
P1. Grieta lateral - Tensión (kPa): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,3164129	1,82080698	3,53277707	1,18196297	15,9142303	6,90305281	16,8924599	6,53753805	12,9969597	14,5730801	7,46426201
N1	0,54318899	2,42071009	3,077461	0,66124582	3,29690504	5,6607461	1,29767001	4,1707902	1,21242297	1,03822601	2,97760105
N2	6,02547598	32,6483994	51,3314018	6,30971193	23,7663002	20,7715302	28,1354809	26,9081707	24,8199902	35,7070885	48,3096809
N3	0,4991762	3,06297994	3,81698203	1,56177604	1,79140604	5,54453707	3,85906196	5,1978569	3,19079208	7,69264412	2,93580198
N4	1,02058697	12,7295198	10,1039696	2,283391	10,9648895	9,24782658	16,7560902	10,03615	16,3705101	11,78545	11,0436296
N5	0,75150591	4,71229506	2,58731699	0,4650124	8,20985985	4,31246424	21,3979206	2,47693992	14,1201696	17,8276291	7,84400702



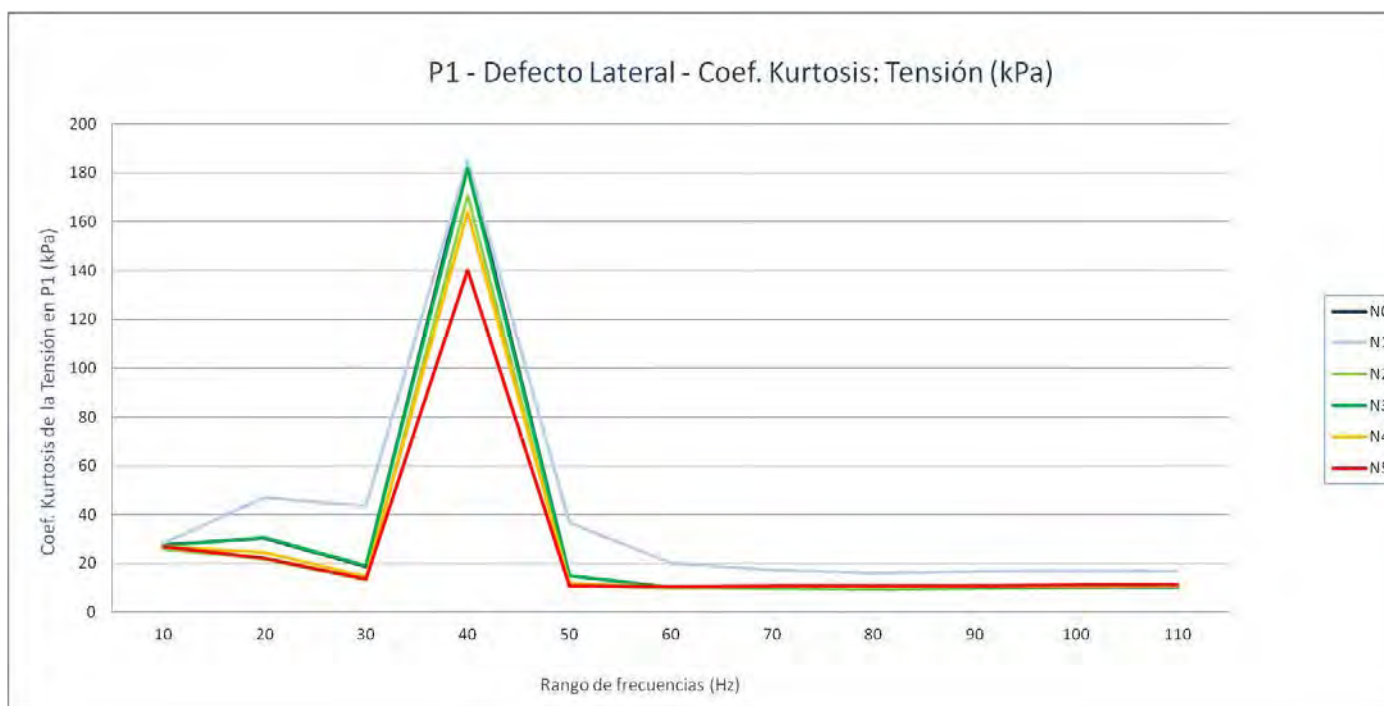
P1. Grieta lateral - Tensión (kPa): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	24185,3105	25896,9492	29448,8105	35761,2305	40669,3281	43265,6602	46975,5391	52666,2305	54401,0391	53710,9609	53350,0391
N1	8967,81348	9811,91602	11305,1201	13829,5703	15500,8701	16659,1406	17188,5391	18321,4707	19019,8105	18132,0605	19232,2891
N2	72200,5781	77888,5469	90400,5391	108217,398	123064,703	147011,406	169836,906	190171,906	187850,797	189164,297	185721,297
N3	17493,6191	18852,2793	21680,0703	26198,8691	29630,25	31274,1406	33675,1211	36176,8008	38278,5508	38195,8203	37145,8984
N4	28474,7891	30823,6699	35417,0117	41756,2617	47325,0781	58530,7188	67012,0234	73805,4063	74851,1484	74843,0625	73212,8828
N5	32873,1406	35286,9688	41371,5898	47908,3906	54217,4414	73955,4219	86793,0781	93208,9922	95824,5625	93876,6484	90726,8672



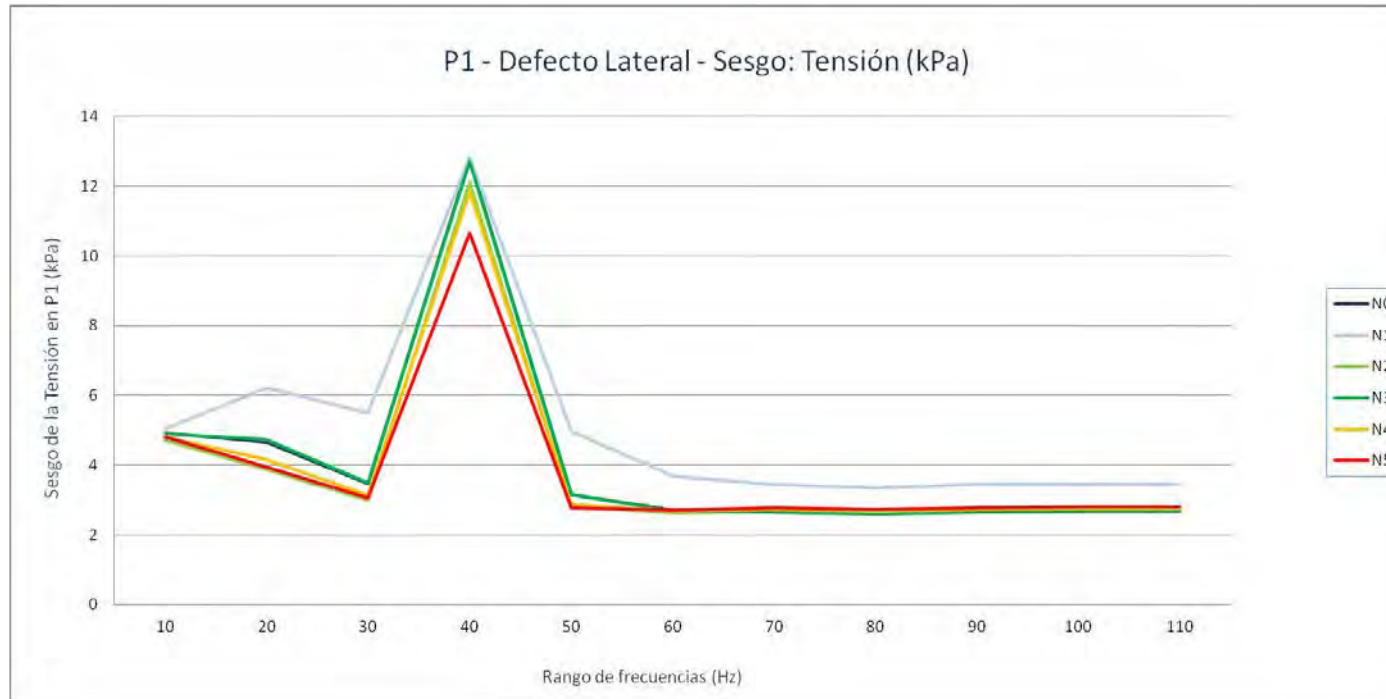
P1. Grieta lateral - Tensión (kPa): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	27,6385898	30,2676831	18,5852223	184,565912	15,0847798	10,3232717	10,0965206	9,81530872	10,1378605	10,354291	10,4391232
N1	28,1486369	47,0004654	43,7679741	184,913981	36,7715243	19,9585868	17,4248772	16,0019865	16,7833151	16,9328209	16,7763268
N2	26,0342558	21,7949688	13,2630262	171,049041	11,2856725	9,7572866	9,99065539	9,7757419	9,93093058	10,1015925	10,173964
N3	27,3445312	30,838261	19,0159482	181,806157	14,847339	10,213138	9,97214838	9,69419991	10,0033463	10,2275634	10,3246346
N4	26,8602957	24,4152617	14,5408055	164,165654	11,8397552	10,1825106	10,4739411	10,2858952	10,4776503	10,6953381	10,7914601
N5	26,762503	22,0790718	13,602146	140,269758	10,9851891	10,4437682	10,8894467	10,7386517	10,9300692	11,130992	11,2150797



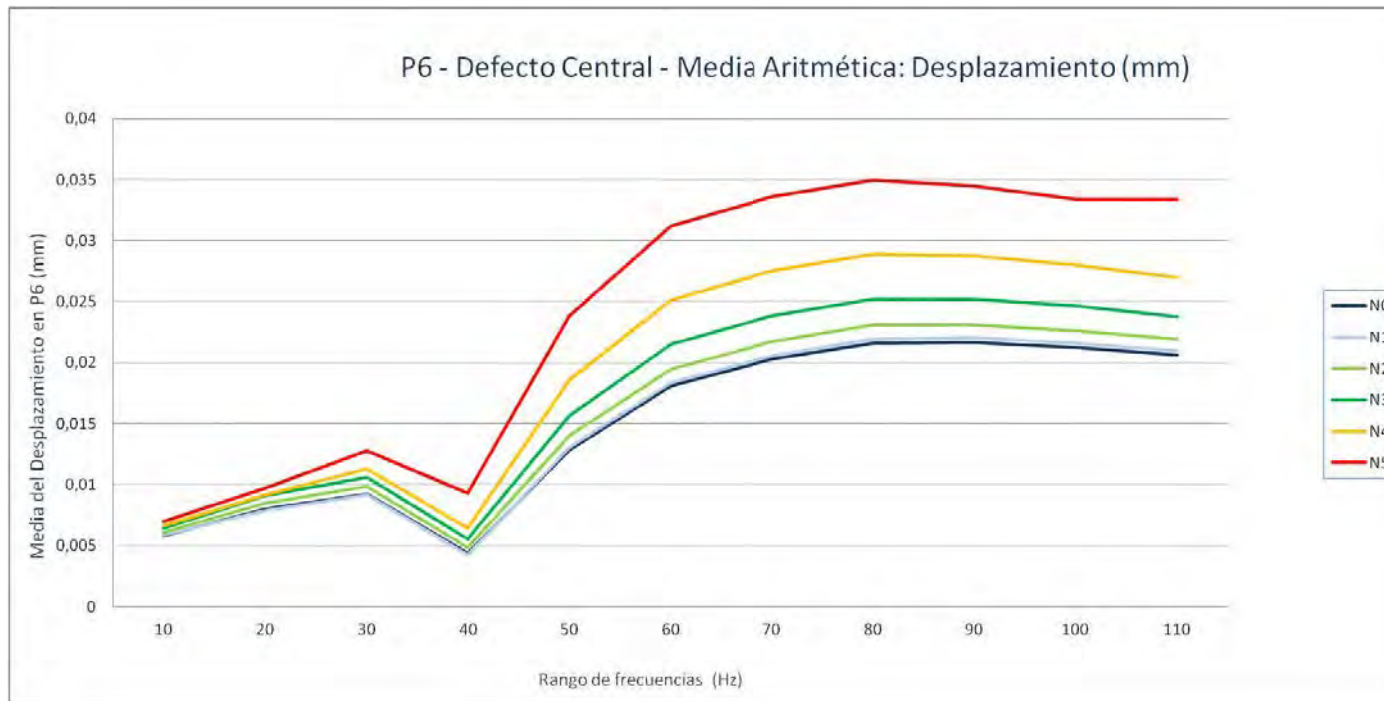
P1. Grieta lateral - Tensión (kPa): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	4,91592881	4,65950474	3,45728312	12,7669455	3,16683812	2,69397344	2,6659037	2,6238843	2,67005876	2,6879345	2,69318403
N1	5,04699609	6,20956789	5,50582687	12,8352484	4,9813917	3,67120203	3,44264282	3,34550035	3,44349231	3,44421825	3,44435031
N2	4,7111023	3,87971529	2,99840915	12,1141134	2,81239732	2,64176243	2,66947286	2,63314328	2,65964077	2,67804463	2,68477641
N3	4,89837629	4,7291523	3,50006521	12,7063944	3,14989715	2,6854858	2,65572697	2,61448242	2,65868555	2,67976861	2,68901847
N4	4,81602799	4,14831855	3,1281756	11,8584487	2,8716005	2,68637082	2,71952486	2,68762384	2,71686003	2,73972961	2,7484549
N5	4,80311189	3,93674496	3,05080467	10,6628648	2,78331789	2,71214353	2,76652422	2,73776188	2,76674511	2,78948311	2,79645246



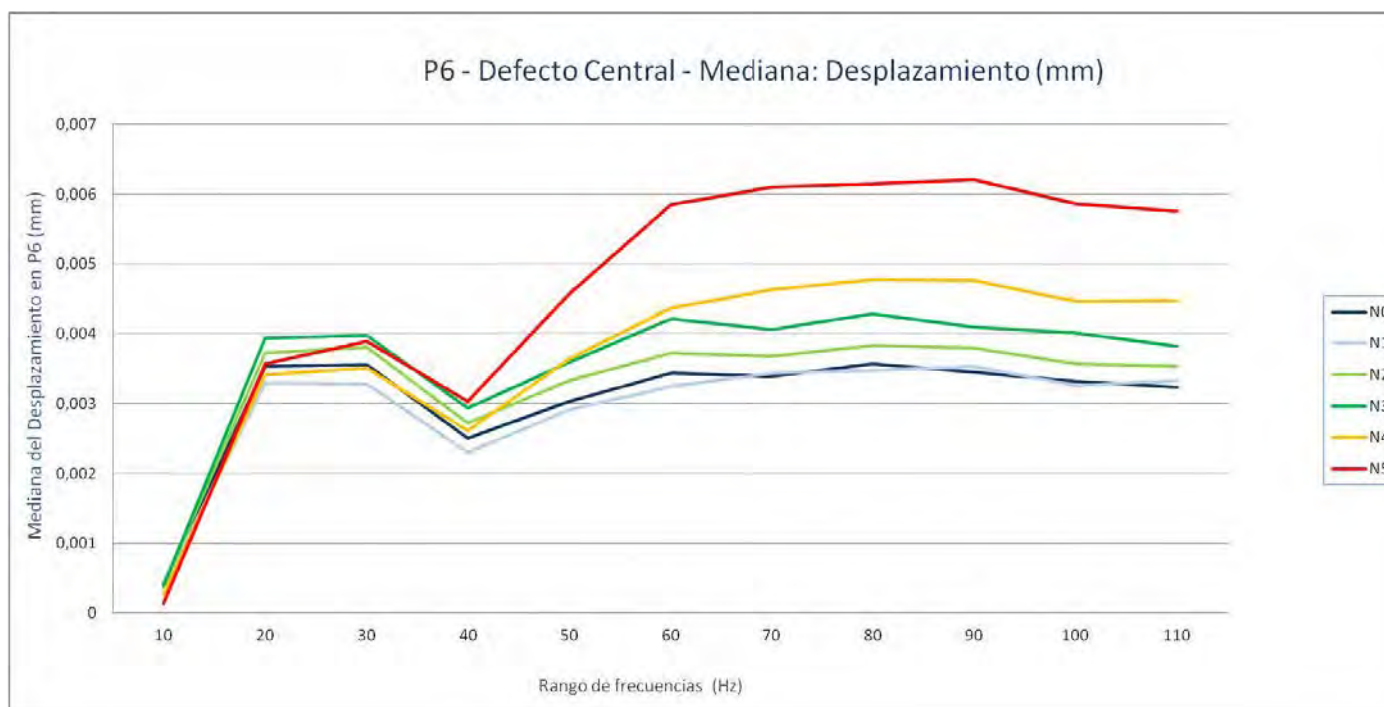
P6. Grieta central - Desplazamiento (mm): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00579369	0,00800222	0,00925005	0,00439851	0,0128791	0,01811439	0,02027996	0,02157851	0,02168233	0,02127685	0,02064006
N1	0,00587057	0,00785826	0,00916157	0,00424105	0,01306852	0,01839835	0,02059171	0,02191074	0,02206375	0,02155637	0,02098732
N2	0,00610124	0,00849918	0,00984351	0,00485521	0,01400938	0,01947774	0,02171478	0,02305922	0,02311903	0,02261487	0,02192527
N3	0,00641916	0,00907982	0,01060839	0,00554626	0,01568277	0,02153156	0,02382107	0,02519874	0,02517415	0,02463651	0,02374082
N4	0,00666561	0,00914816	0,01129039	0,00645961	0,01856954	0,02510064	0,02753563	0,02889175	0,02877429	0,02801761	0,02699567
N5	0,00700702	0,00972463	0,01278607	0,00933637	0,02383603	0,03119678	0,03356411	0,03498164	0,03448244	0,03342383	0,03335973



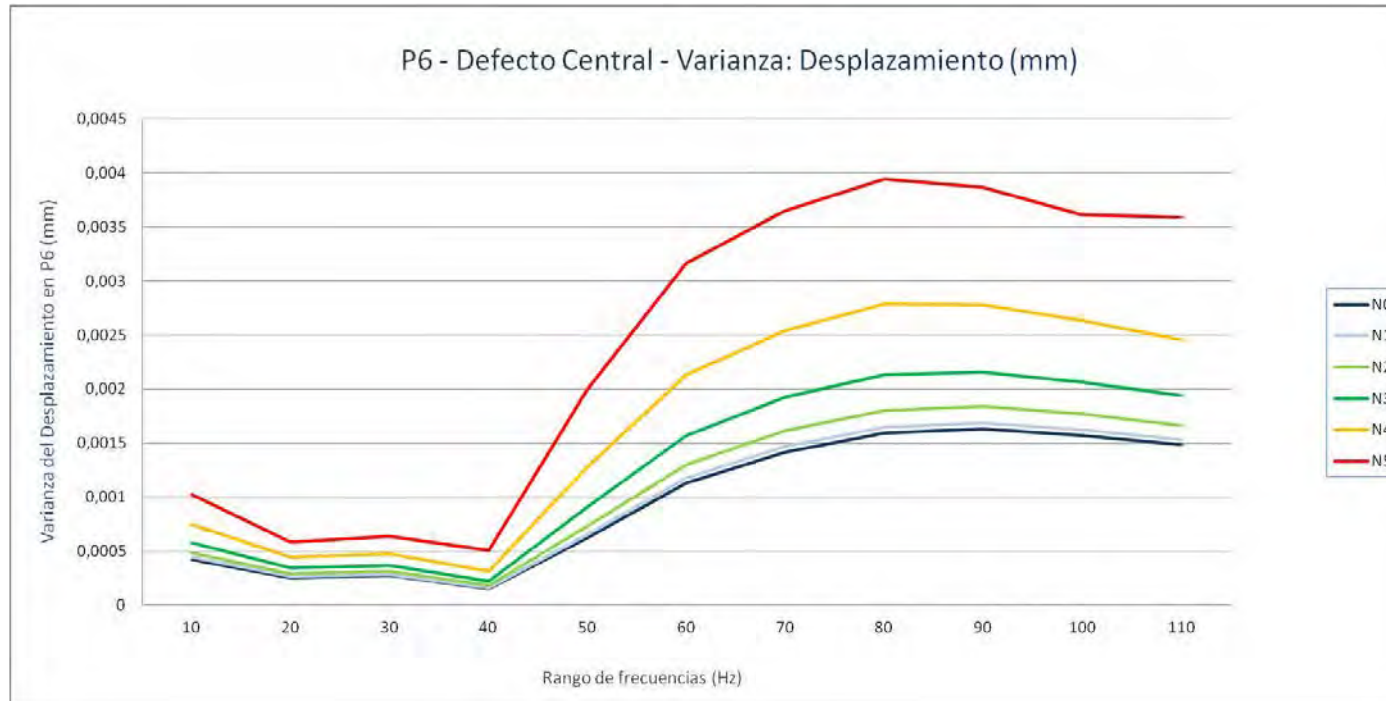
P6. Grieta central - Desplazamiento (mm): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00041741	0,00353082	0,00355736	0,00250801	0,003031763	0,003436609	0,003385606	0,003570728	0,003453871	0,003321224	0,003232699
N1	0,000387664	0,003297307	0,003285902	0,00230778	0,002910752	0,003251794	0,003441791	0,003470986	0,003529896	0,003254818	0,003328835
N2	0,000403005	0,003723161	0,003806786	0,002716424	0,003325062	0,003727547	0,00367266	0,003836936	0,003791163	0,003565863	0,003529615
N3	0,000396184	0,00394111	0,003969328	0,002941059	0,003589636	0,004208478	0,004053561	0,004284088	0,004097432	0,004008249	0,003815226
N4	0,000275854	0,003416786	0,003508256	0,002614412	0,003645611	0,004371425	0,004635799	0,004770821	0,00476216	0,004466416	0,004481533
N5	0,000147523	0,003567824	0,003894596	0,003031749	0,004574365	0,005854613	0,006105439	0,006143757	0,006211044	0,005859264	0,005748024



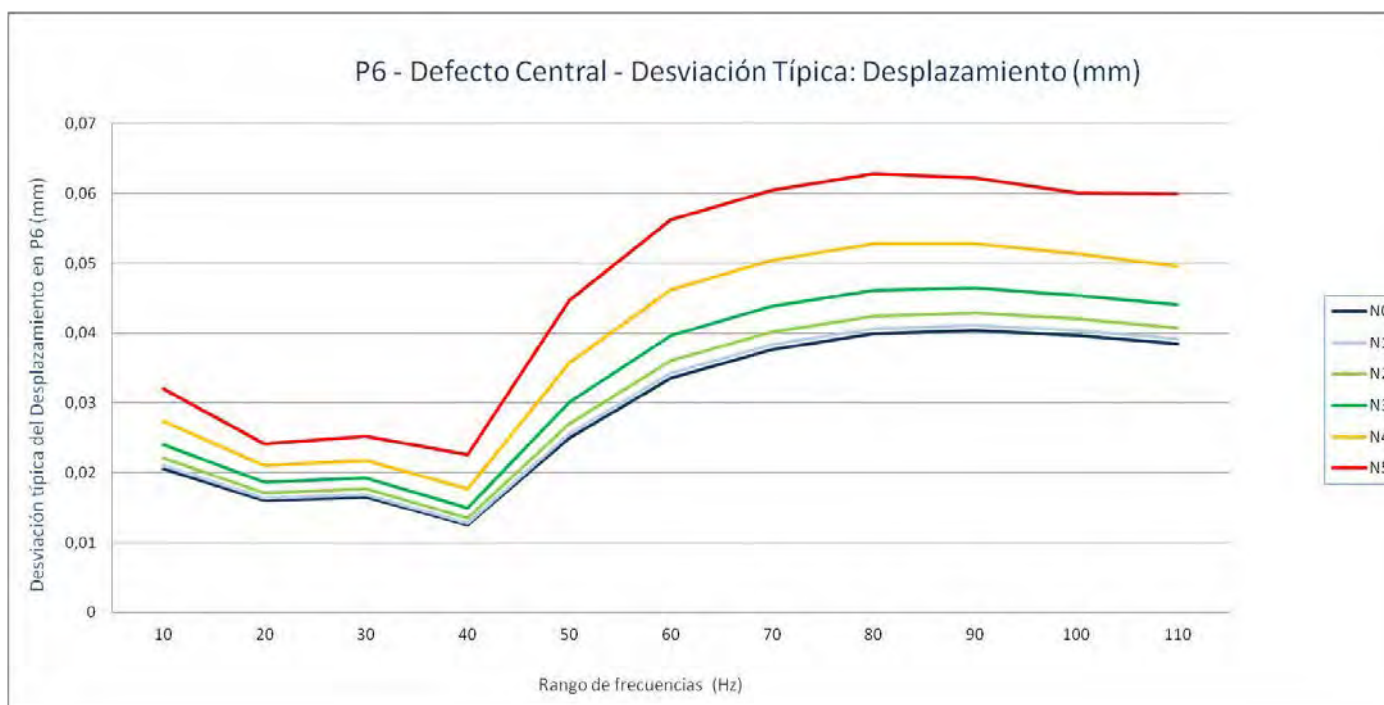
P6. Grieta central - Desplazamiento (mm): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00042375	0,00025693	0,00027341	0,00015669	0,00062625	0,00113092	0,00141973	0,00159162	0,00163226	0,00157322	0,0014843
N1	0,00044281	0,00026797	0,00028512	0,00016384	0,00065668	0,00117849	0,001474	0,00164916	0,00168622	0,00162779	0,00153152
N2	0,00048798	0,0002942	0,00031238	0,00018277	0,00073198	0,00130032	0,0016147	0,00180063	0,00183781	0,00176764	0,00166384
N3	0,00057889	0,00034649	0,00036946	0,00022381	0,00090588	0,00157234	0,00192427	0,00213128	0,00215908	0,00206216	0,00193933
N4	0,00074932	0,00044266	0,00047569	0,00031368	0,00127525	0,00213212	0,00254387	0,00278749	0,00278195	0,00263373	0,00245831
N5	0,00102285	0,00058383	0,0006355	0,00050867	0,00199227	0,0031672	0,00365234	0,00394042	0,00386778	0,00360985	0,00359119



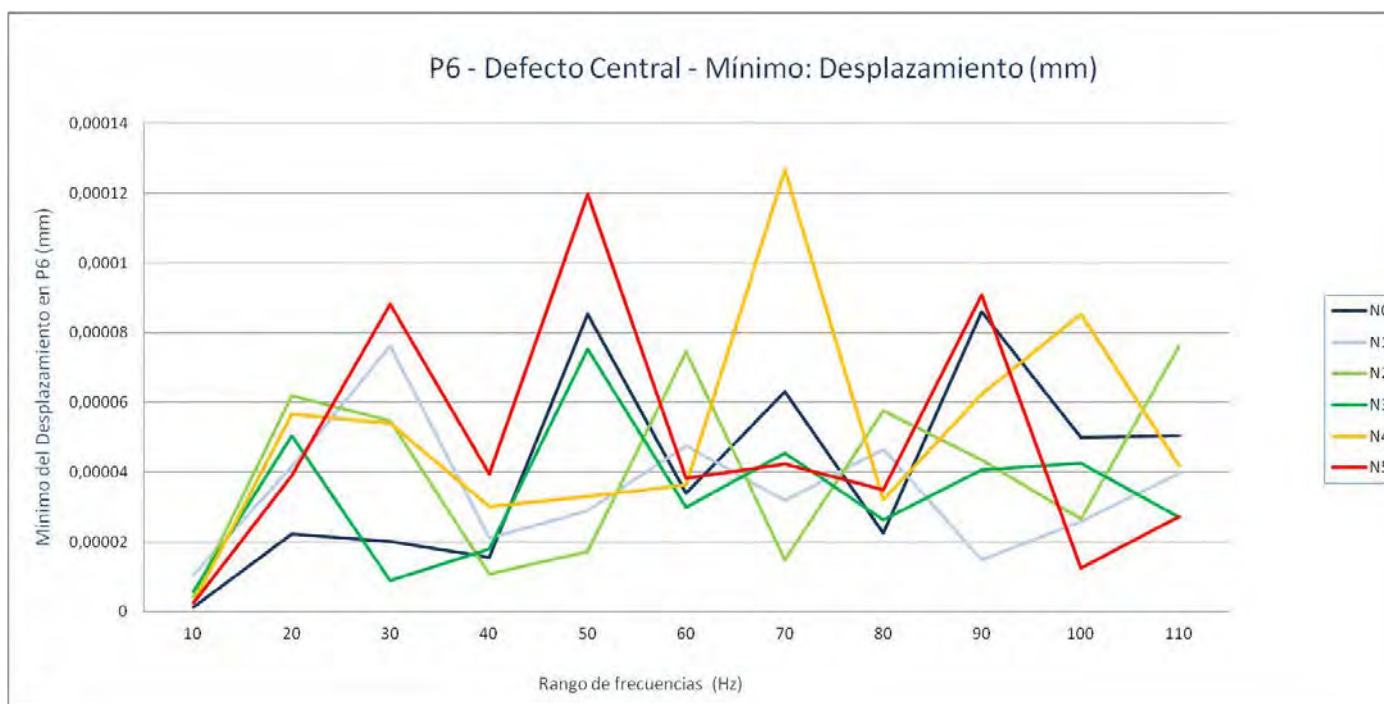
P6. Grieta central - Desplazamiento (mm): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,02058528	0,016028895	0,016535072	0,012517569	0,025024937	0,033629139	0,037679314	0,039895155	0,040401294	0,039663836	0,038526612
N1	0,021043123	0,01636991	0,016885528	0,012799865	0,025625825	0,034329117	0,038392696	0,040609846	0,041063621	0,040345824	0,039134627
N2	0,022090172	0,017152199	0,017674179	0,013519066	0,02705514	0,036059939	0,040183294	0,042433776	0,04286969	0,042043312	0,04079018
N3	0,024060223	0,018614125	0,019221234	0,014960348	0,030097771	0,039652802	0,043866462	0,046165804	0,046465906	0,045411008	0,044037861
N4	0,027373625	0,021039387	0,021810248	0,017710882	0,035710584	0,046174882	0,050436765	0,052796686	0,052744176	0,051319832	0,049581388
N5	0,031982027	0,024162492	0,025209197	0,022553796	0,044634861	0,056277914	0,060434632	0,062772728	0,062191452	0,060082027	0,059926509



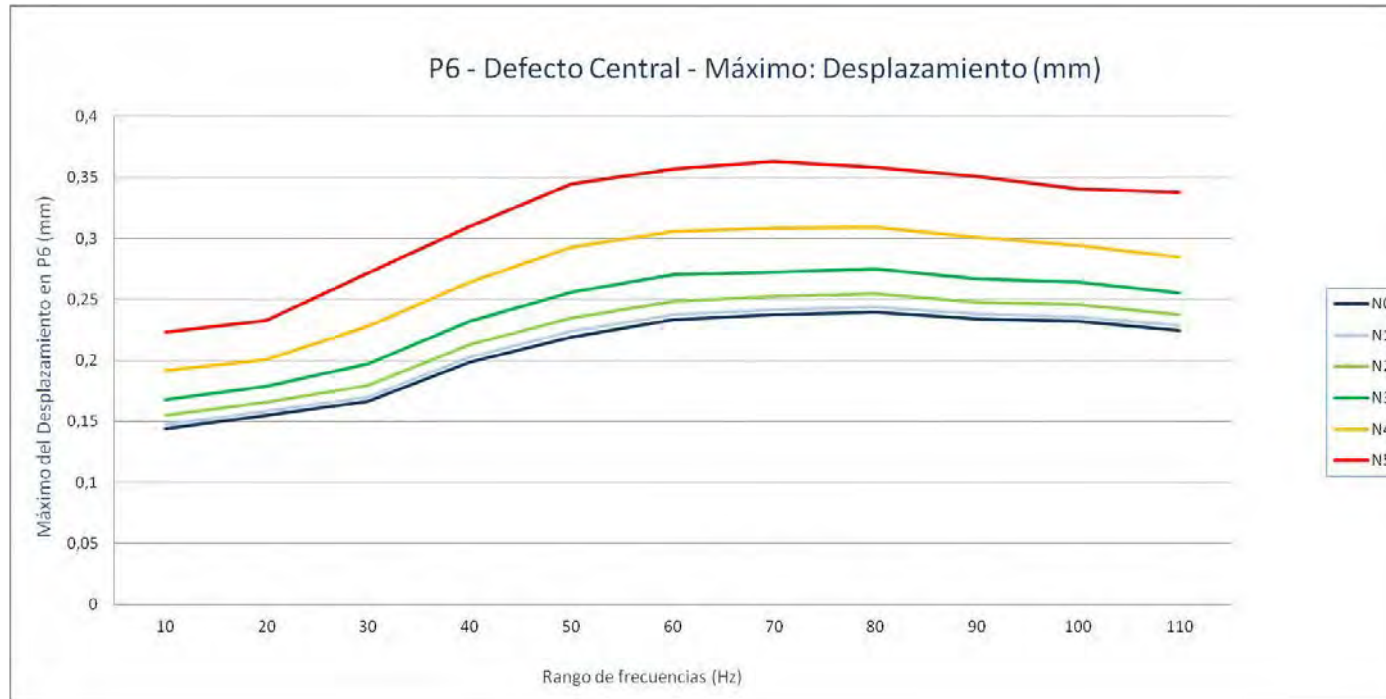
P6. Grieta central - Desplazamiento (mm): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	1,3213E-06	2,2272E-05	2,0183E-05	1,5587E-05	8,535E-05	3,4005E-05	6,2971E-05	2,2396E-05	8,6084E-05	4,9923E-05	5,0533E-05
N1	1,0642E-05	4,1657E-05	7,6257E-05	2,1056E-05	2,8859E-05	4,7576E-05	3,1788E-05	4,6536E-05	1,4887E-05	2,5724E-05	3,9699E-05
N2	4,2236E-06	6,1932E-05	5,4624E-05	1,0853E-05	1,7148E-05	7,4434E-05	1,477E-05	5,748E-05	4,3415E-05	2,6499E-05	7,6298E-05
N3	5,8087E-06	5,0339E-05	8,7879E-06	1,8056E-05	7,5173E-05	2,9947E-05	4,5536E-05	2,6225E-05	4,0682E-05	4,2634E-05	2,698E-05
N4	2,6347E-06	5,6749E-05	5,392E-05	3,0098E-05	3,307E-05	3,6404E-05	0,00012662	3,196E-05	6,2442E-05	8,5229E-05	4,1758E-05
N5	2,3155E-06	3,8943E-05	8,8282E-05	3,9379E-05	0,00011958	3,8153E-05	4,2294E-05	3,4962E-05	9,0677E-05	1,2578E-05	2,7279E-05



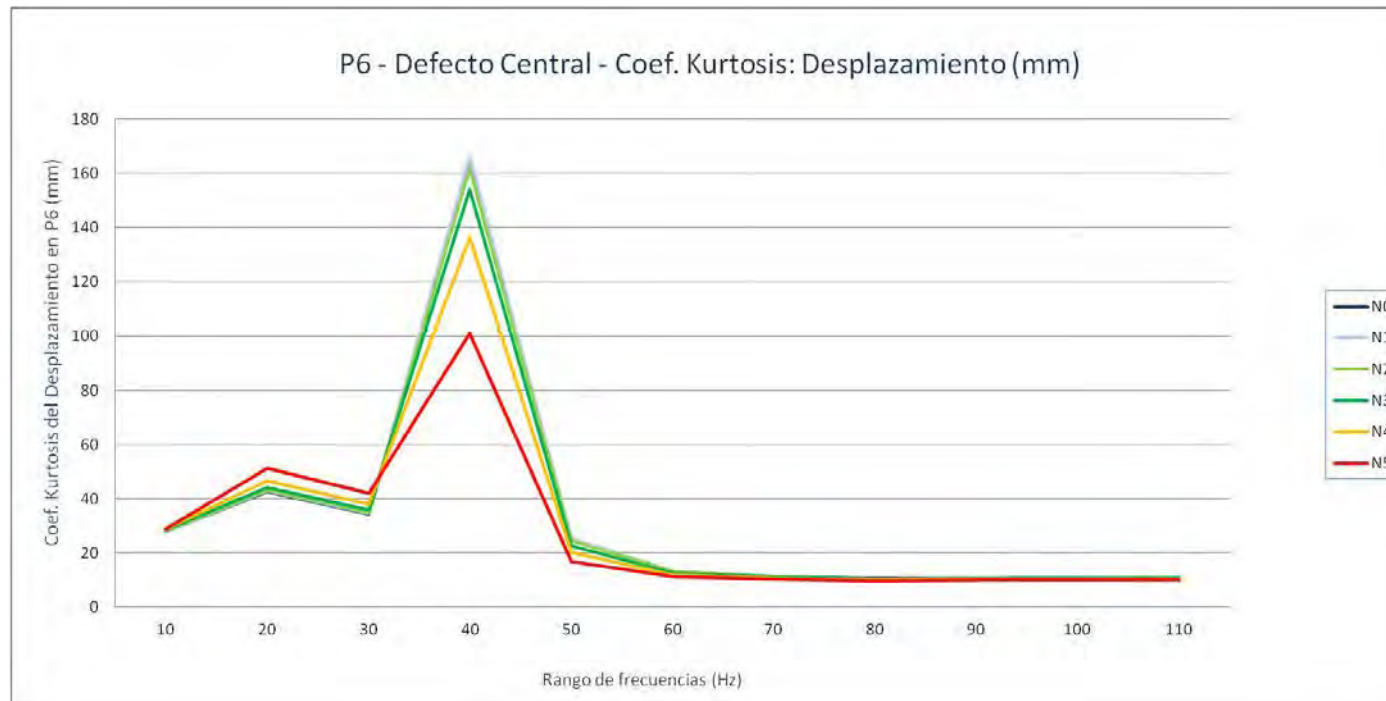
P6. Grieta central - Desplazamiento (mm): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,1442643	0,1552344	0,1662979	0,1988401	0,2192201	0,233254	0,2375121	0,2396324	0,2340325	0,2319085	0,2249051
N1	0,1473868	0,15832721	0,17021389	0,20295089	0,22369491	0,23765931	0,241778	0,2437622	0,23805881	0,235698	0,22845531
N2	0,1547683	0,165611	0,17937	0,2129498	0,2348047	0,2488023	0,252509	0,2545222	0,24813721	0,2455519	0,23783229
N3	0,1682816	0,1787526	0,19730359	0,2321303	0,25628859	0,2700983	0,27269581	0,27493179	0,26715711	0,2640022	0,2553913
N4	0,19211569	0,20067181	0,2280422	0,2642045	0,2926093	0,3056975	0,3088392	0,3089298	0,3009102	0,29442549	0,28442681
N5	0,22340789	0,23249631	0,27191201	0,30981421	0,34494931	0,35697961	0,36297181	0,35826871	0,35117319	0,34053081	0,33812299



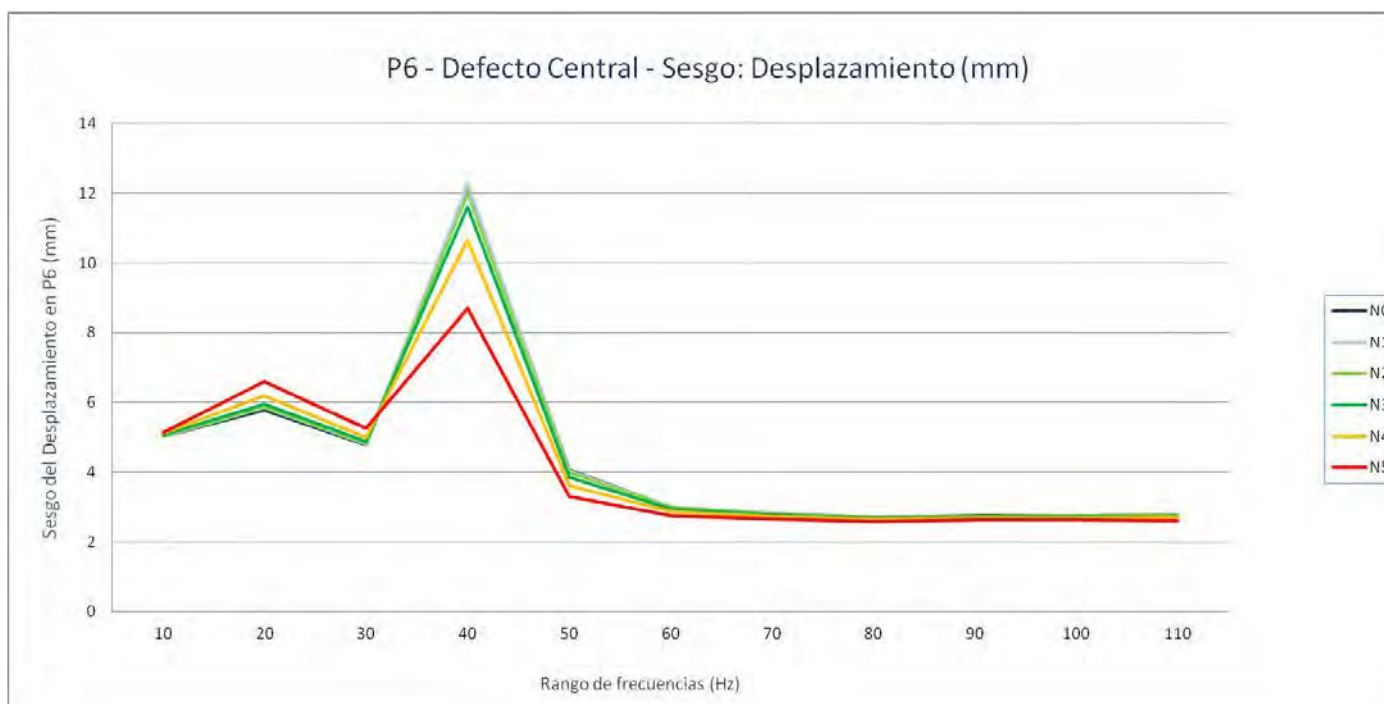
P6. Grieta central - Desplazamiento (mm): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	28,0477314	42,5722882	34,3455167	165,770636	25,2572946	13,1812258	11,4546885	10,5737803	10,7536779	10,9543981	11,1171672
N1	28,0737837	43,1186031	34,7668405	166,424168	25,0277626	13,1433488	11,431196	10,554714	10,7460554	10,9119191	11,0985151
N2	28,1721401	43,1783929	35,077429	161,845055	24,4198718	13,0388497	11,3823476	10,5211598	10,7038172	10,8707028	11,0253235
N3	28,3869277	44,1696878	35,9306578	154,194913	22,8161951	12,7157567	11,2051165	10,3906186	10,5930838	10,747987	10,8477771
N4	28,7278469	46,7389158	37,9910568	136,26645	20,1211643	12,0658278	10,8339696	10,1077931	10,365999	10,4608006	10,5350391
N5	28,8642298	51,1074507	41,9208761	100,911654	16,8415153	11,2114376	10,3390721	9,78392297	10,0730232	10,1233685	10,0442253



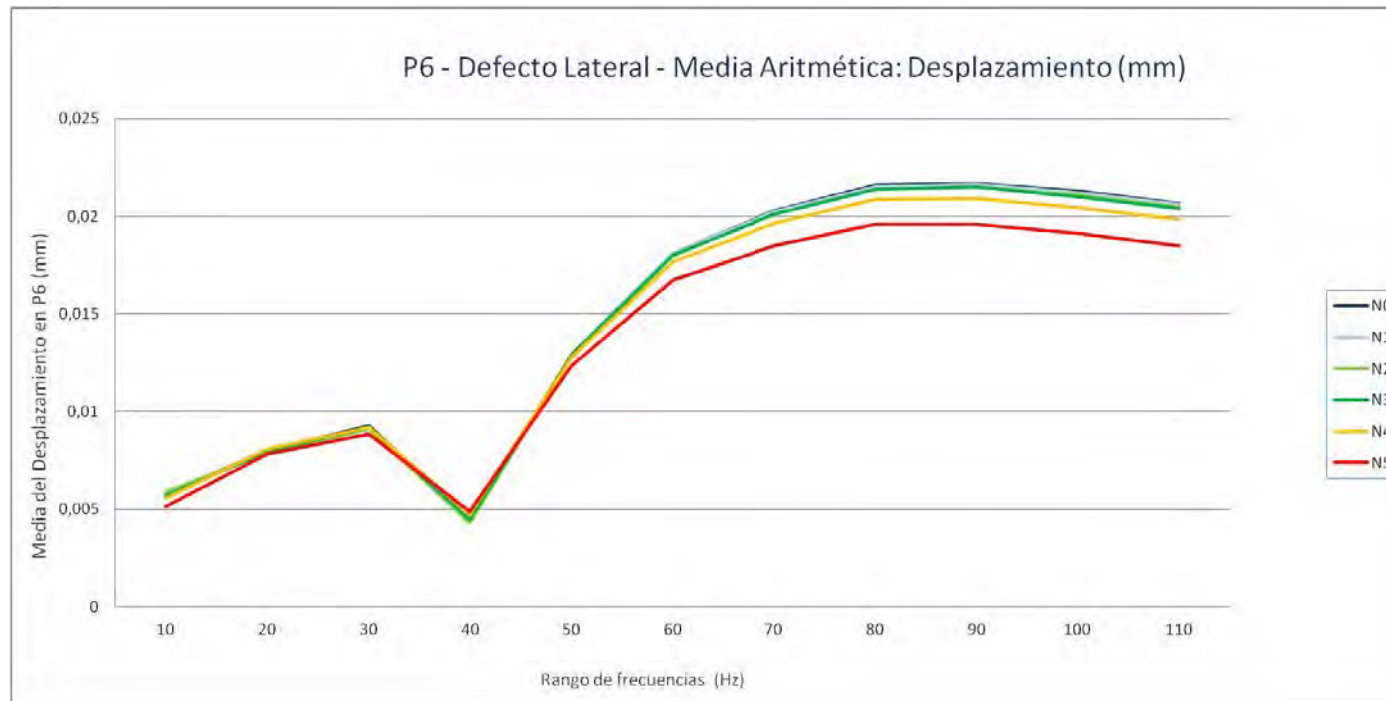
P6. Grieta central - Desplazamiento (mm): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,02181261	5,79286021	4,76907501	12,1965421	4,06337597	2,99726071	2,81784718	2,71227786	2,74014151	2,75728181	2,77620572
N1	5,02629892	5,84894298	4,80578805	12,2452154	4,04508915	2,99205844	2,81364367	2,70868138	2,73846852	2,75070477	2,77352292
N2	5,03988314	5,84934363	4,81670467	12,0007248	3,9928876	2,97942301	2,80636769	2,70362205	2,7309646	2,74462011	2,76303086
N3	5,07076475	5,9422302	4,86723677	11,6007045	3,85467762	2,94107288	2,78113055	2,68432636	2,71239167	2,7255061	2,73765483
N4	5,12190798	6,18902753	5,00479766	10,6557069	3,6152396	2,86123775	2,72903483	2,64366467	2,67483934	2,68106979	2,69356082
N5	5,14474801	6,59504381	5,24988949	8,6914478	3,30698137	2,75351728	2,65749491	2,59202249	2,63005724	2,62810259	2,61837884



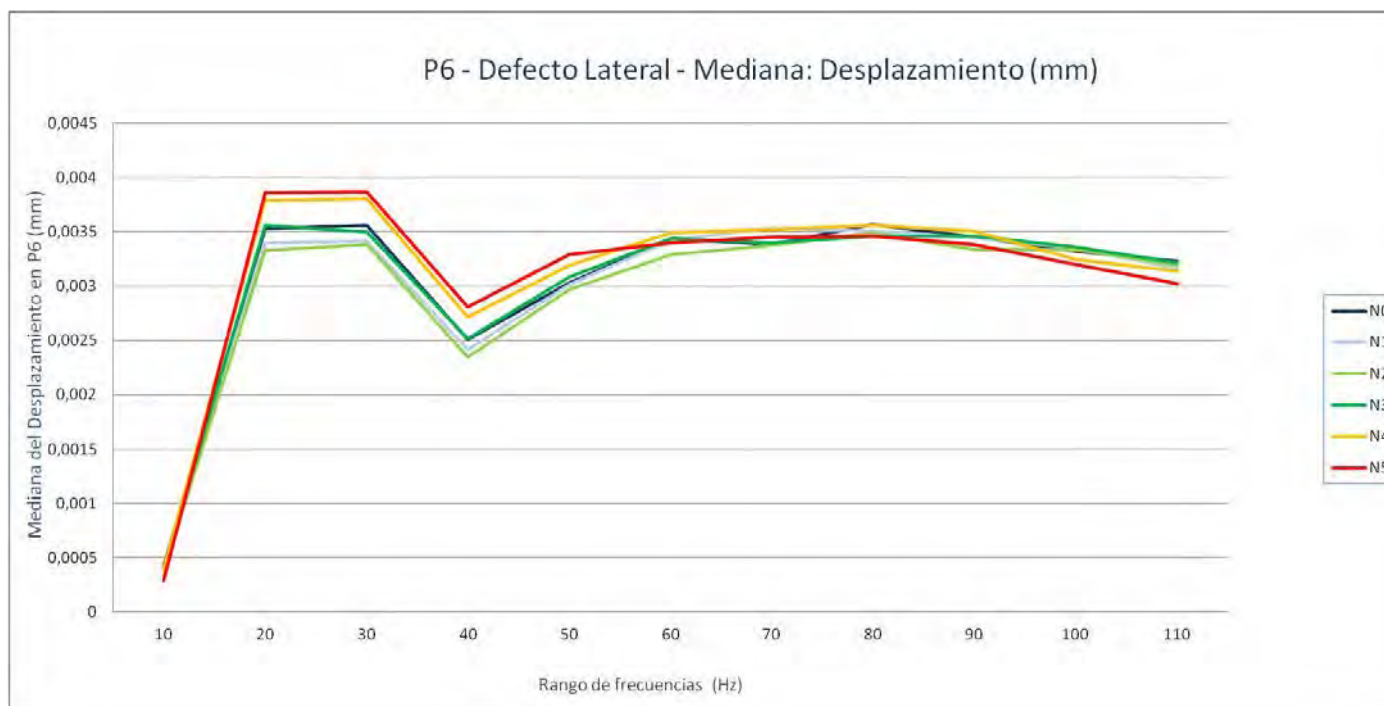
P6. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00579369	0,00800222	0,00925005	0,00439851	0,0128791	0,01811439	0,02027996	0,02157851	0,02168233	0,02127685	0,02064006
N1	0,00582937	0,00792459	0,00917528	0,00432996	0,01285549	0,0180803	0,02023644	0,02152651	0,02164339	0,02122945	0,02059937
N2	0,00591372	0,00788041	0,00910243	0,00429625	0,01280186	0,0179774	0,02009685	0,02136444	0,02151549	0,02107688	0,02048231
N3	0,00568805	0,00795242	0,00917077	0,00444626	0,01287135	0,01799231	0,02010495	0,02138285	0,02148924	0,02100845	0,02041516
N4	0,00557115	0,00808683	0,00918935	0,00471517	0,01276628	0,01765212	0,01964948	0,02085734	0,02090674	0,02045553	0,01983591
N5	0,00515182	0,00783179	0,00884139	0,00487512	0,0123266	0,0167265	0,01846472	0,0195736	0,01957017	0,01910172	0,0184954



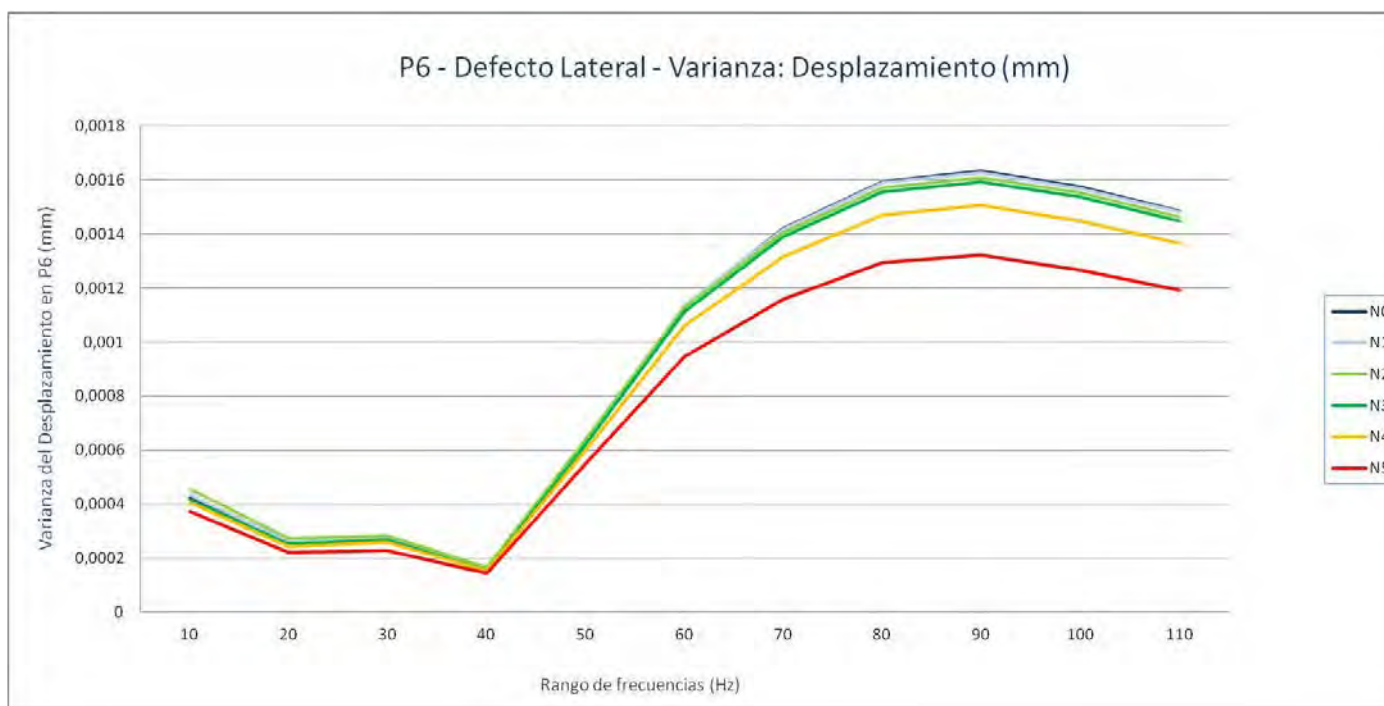
P6. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00041741	0,00353082	0,00355736	0,00250801	0,003031763	0,003436609	0,003385606	0,003570728	0,003453871	0,003321224	0,003232699
N1	0,000402201	0,003395918	0,003418286	0,002419483	0,003016538	0,003422724	0,003539977	0,003503303	0,003449132	0,003356638	0,003161498
N2	0,000389313	0,003331585	0,003382732	0,002347759	0,002969812	0,003289534	0,003376445	0,003490063	0,003335259	0,003335156	0,003193527
N3	0,000391763	0,00355976	0,003499874	0,002514233	0,003084231	0,003436952	0,003401109	0,00346276	0,003460275	0,003360046	0,003218092
N4	0,000387598	0,003792149	0,003807335	0,002715594	0,003195698	0,003491282	0,003526091	0,003557216	0,003510624	0,003247752	0,003139025
N5	0,000293858	0,003862974	0,003869462	0,00281022	0,003290889	0,003398078	0,003450279	0,003461998	0,003386143	0,003199072	0,003021053



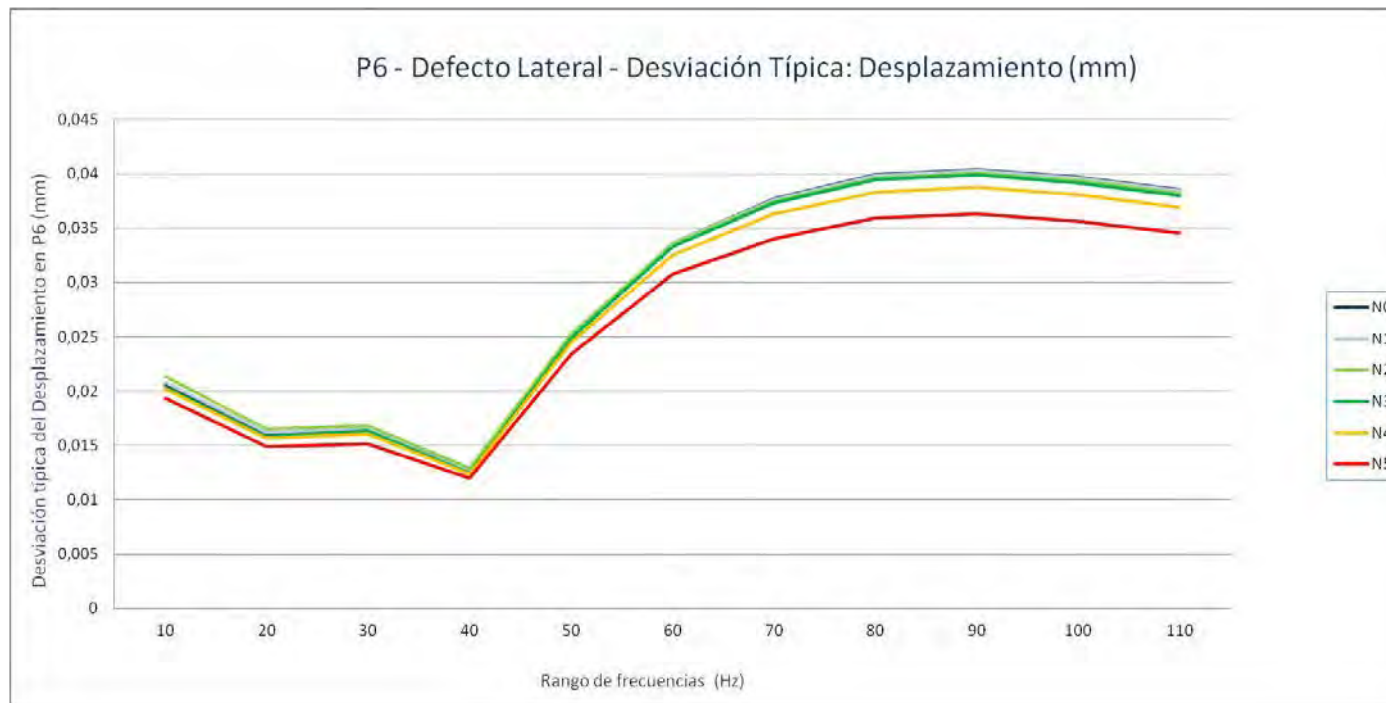
P6. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00042375	0,00025693	0,00027341	0,00015669	0,00062625	0,00113092	0,00141973	0,00159162	0,00163226	0,00157322	0,0014843
N1	0,00043393	0,0002619	0,00027655	0,00015967	0,00063092	0,00113272	0,00141863	0,00158836	0,00162744	0,00156944	0,00148051
N2	0,00045648	0,00027253	0,00028239	0,00016613	0,00063656	0,00112809	0,00140612	0,00157056	0,00160701	0,00155306	0,0014646
N3	0,00041476	0,00025105	0,00026755	0,00015445	0,00061944	0,00111234	0,00139043	0,00155629	0,00159296	0,00153631	0,00144686
N4	0,00040754	0,00024447	0,00025723	0,00015293	0,00059911	0,00106036	0,00131685	0,00147107	0,00150504	0,0014483	0,00136483
N5	0,00037357	0,00022141	0,00022935	0,00014356	0,00054907	0,00094698	0,00115823	0,00129243	0,0013206	0,00126705	0,00119314



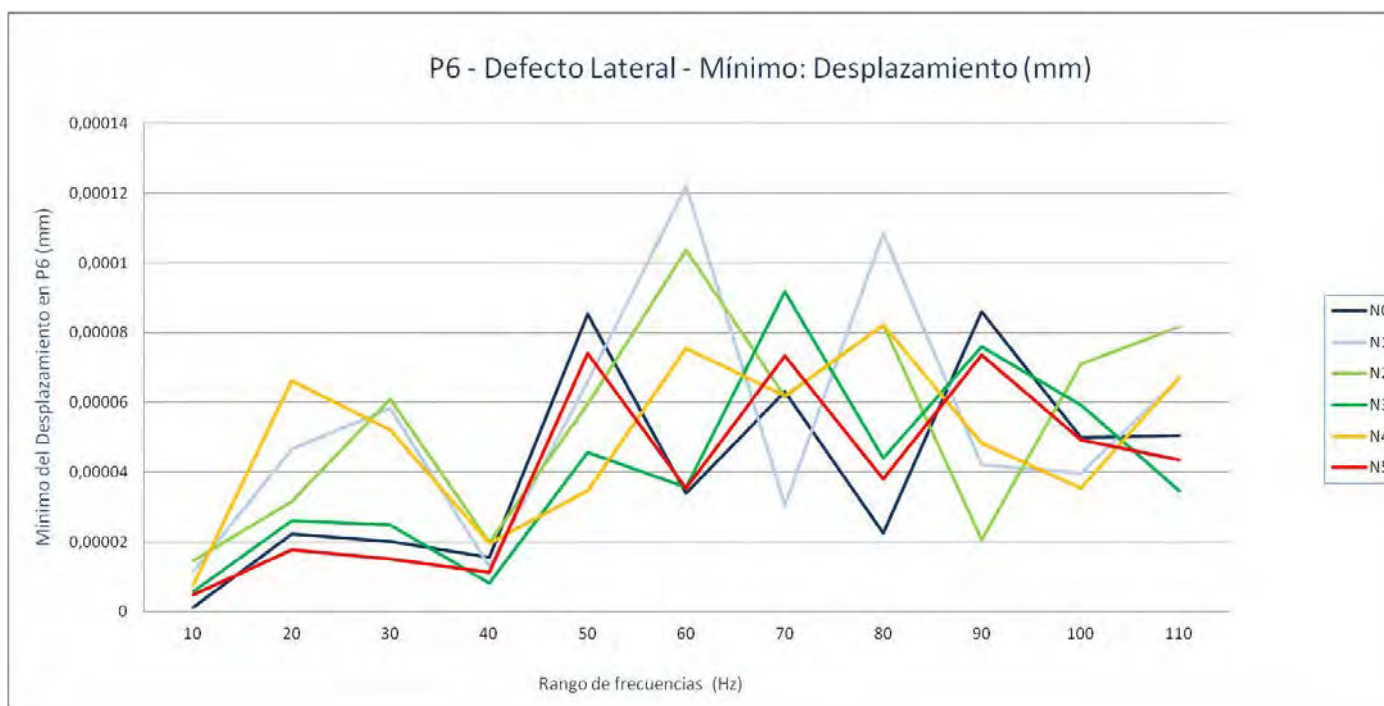
P6. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,02058528	0,016028895	0,016535072	0,012517569	0,025024937	0,033629139	0,037679314	0,039895155	0,040401294	0,039663836	0,038526612
N1	0,020831103	0,016183206	0,016629874	0,012636117	0,025118109	0,033655869	0,037664658	0,039854241	0,040341539	0,03961615	0,038477334
N2	0,021365309	0,016508332	0,016804571	0,012888982	0,025230114	0,033587041	0,037498284	0,039630347	0,040087532	0,039408917	0,038270136
N3	0,020365761	0,015844426	0,016356935	0,012427786	0,024888627	0,033351764	0,037288467	0,039449818	0,039911955	0,039195738	0,038037577
N4	0,020187576	0,015635638	0,016038298	0,012366451	0,024476664	0,032563224	0,036288375	0,038354563	0,038794862	0,038056521	0,036943614
N5	0,019327863	0,014879949	0,015144178	0,011981767	0,023432265	0,030773099	0,034032798	0,035950452	0,036340057	0,03559559	0,03454193



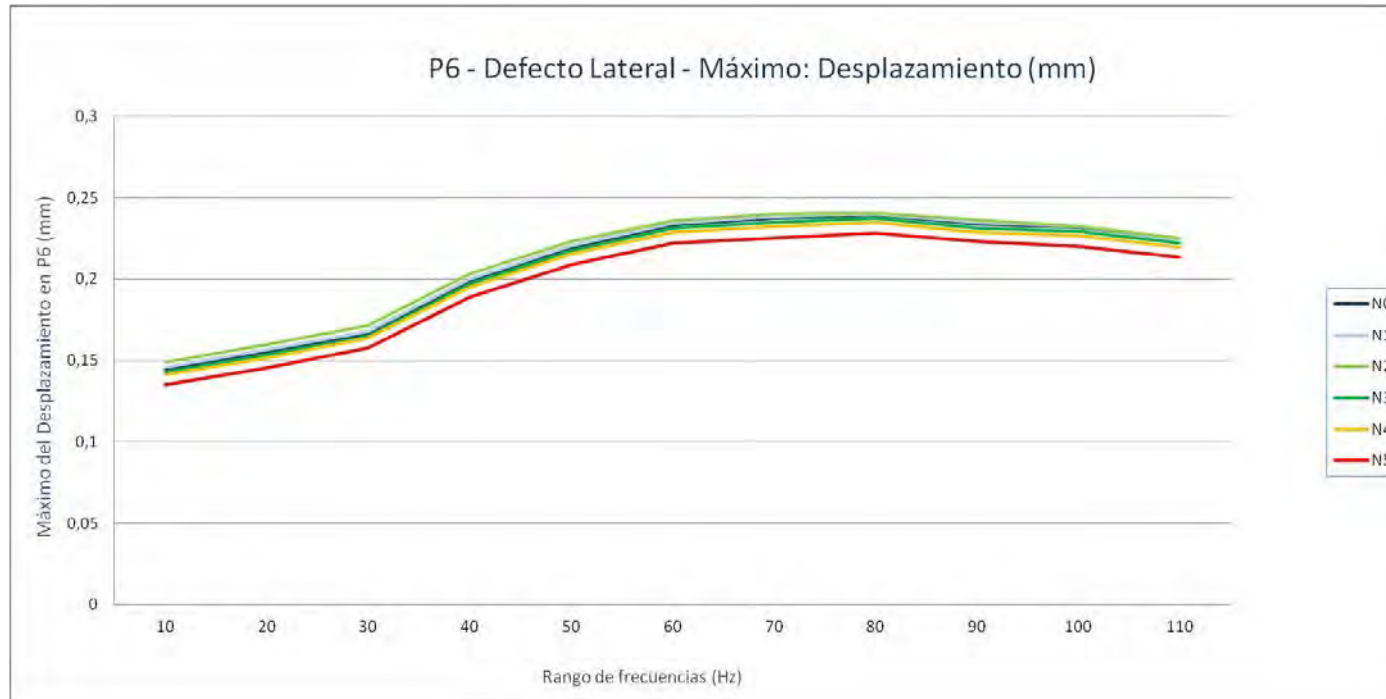
P6. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	1,3213E-06	2,2272E-05	2,0183E-05	1,5587E-05	8,535E-05	3,4005E-05	6,2971E-05	2,2396E-05	8,6084E-05	4,9923E-05	5,0533E-05
N1	1,1517E-05	4,6687E-05	5,8224E-05	1,2891E-05	6,6052E-05	0,00012197	3,0552E-05	0,00010854	4,2177E-05	3,9712E-05	6,692E-05
N2	1,4722E-05	3,1639E-05	6,0949E-05	1,9818E-05	5,9479E-05	0,00010364	6,1752E-05	8,2232E-05	2,0692E-05	7,1007E-05	8,1762E-05
N3	5,699E-06	2,6046E-05	2,4881E-05	8,0509E-06	4,5711E-05	3,5617E-05	9,1708E-05	4,389E-05	7,6034E-05	5,9323E-05	3,4681E-05
N4	7,5671E-06	6,6192E-05	5,2146E-05	1,9722E-05	3,4746E-05	7,5588E-05	6,187E-05	8,2129E-05	4,8195E-05	3,5455E-05	6,7125E-05
N5	4,8235E-06	1,7712E-05	1,5191E-05	1,118E-05	7,4049E-05	3,5431E-05	7,3249E-05	3,7978E-05	7,3677E-05	4,9343E-05	4,3486E-05



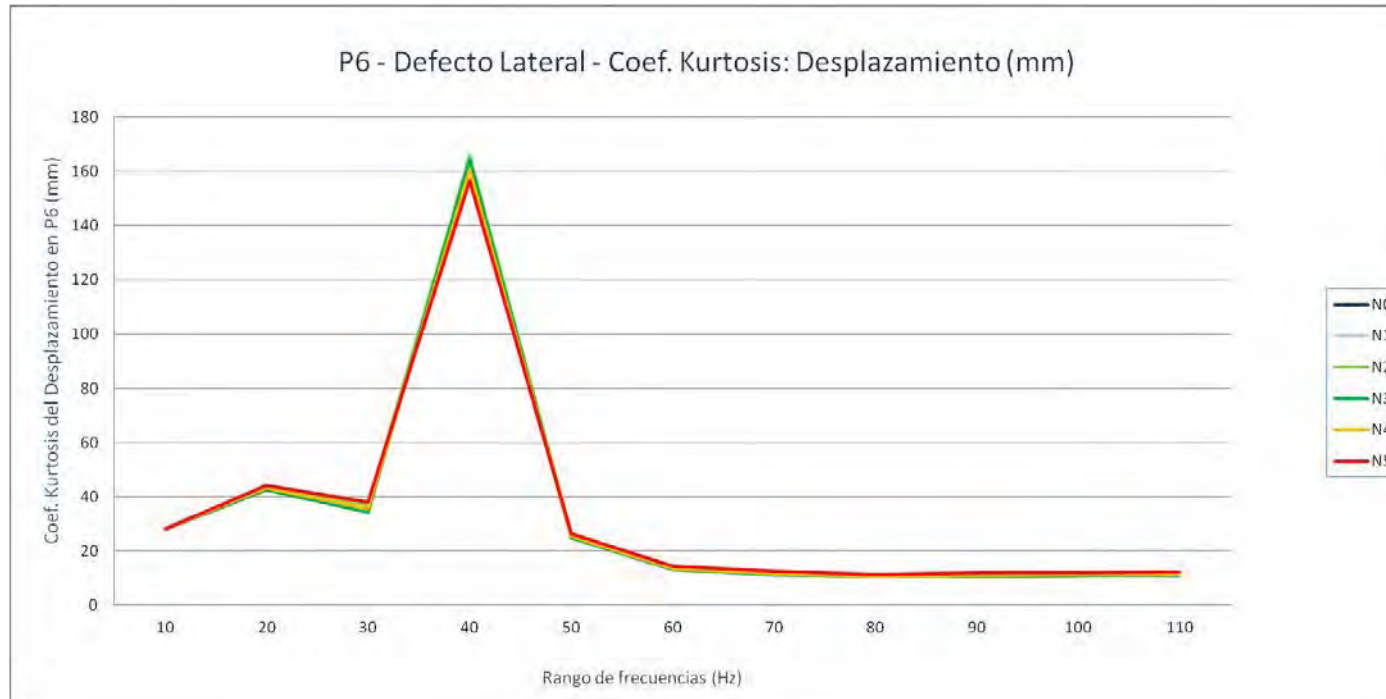
P6. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,1442643	0,1552344	0,1662979	0,1988401	0,2192201	0,233254	0,2375121	0,2396324	0,2340325	0,2319085	0,2249051
N1	0,1458032	0,15667219	0,1680281	0,2002494	0,2204978	0,23421609	0,2384177	0,24005809	0,23483559	0,2321969	0,2249565
N2	0,14916579	0,15984569	0,1715975	0,2031581	0,2230543	0,2361099	0,2402423	0,24077719	0,23646779	0,2326532	0,2252838
N3	0,14283089	0,1535054	0,1648991	0,1970724	0,21741819	0,2311608	0,2350574	0,23730379	0,2313211	0,2293337	0,2223729
N4	0,14141349	0,1518196	0,1636266	0,19527049	0,21556281	0,2289433	0,2325013	0,23481479	0,2286382	0,2266666	0,21974701
N5	0,13519619	0,145238	0,15767489	0,1888646	0,2090033	0,2222081	0,225291	0,22831181	0,2232988	0,22007111	0,21357059



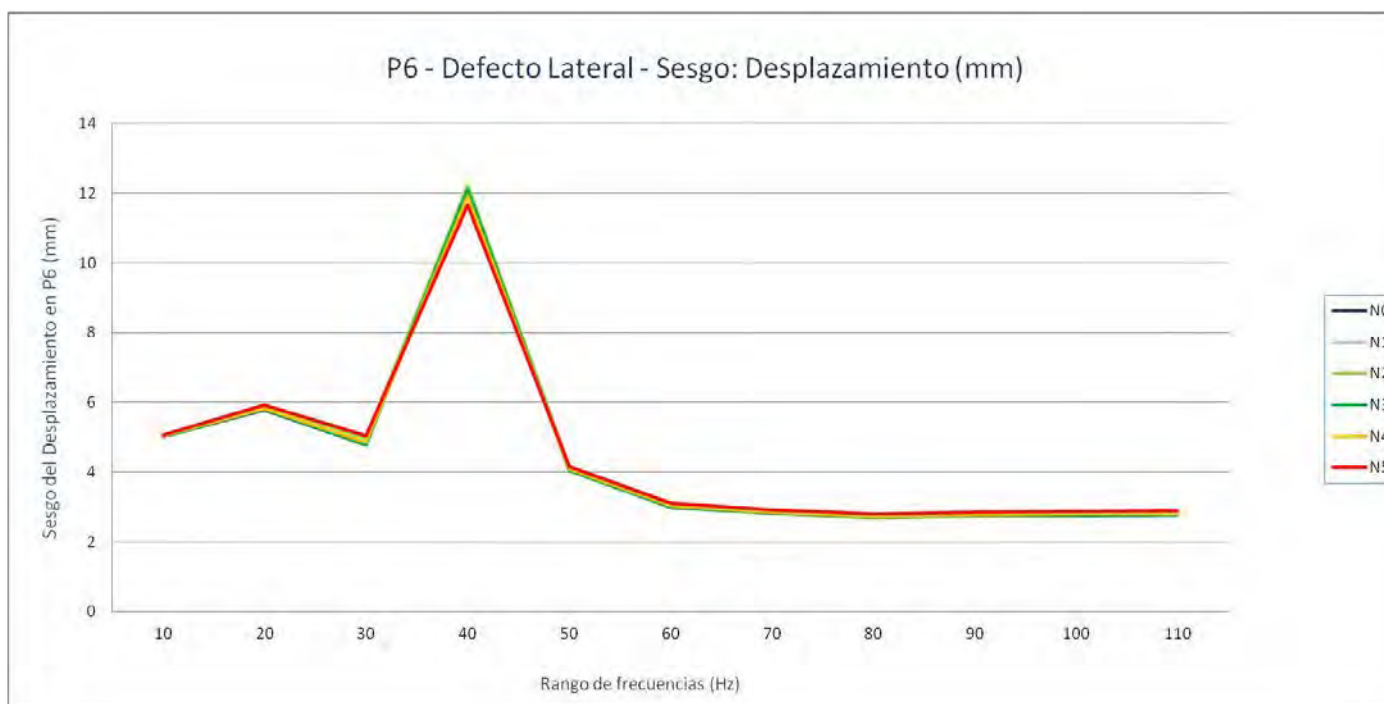
P6. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	28,0477314	42,5722882	34,3455167	165,770636	25,2572946	13,1812258	11,4546885	10,5737803	10,7536779	10,9543981	11,1171672
N1	28,0696423	43,0561732	35,059755	165,808081	25,5608015	13,287801	11,5114215	10,6086711	10,767051	10,9554063	11,1228931
N2	28,1165357	44,0090243	36,7064538	165,136951	26,4618573	13,6056484	11,6825875	10,7216999	10,8358442	11,0042377	11,1983011
N3	28,0930351	42,7244351	34,473962	164,20535	24,9293927	13,1479166	11,4494051	10,5841958	10,79822	10,9830336	11,1622189
N4	28,1796609	43,1817409	35,7233715	160,576659	25,5122516	13,5183065	11,7142892	10,8128571	11,0604743	11,2681463	11,4469168
N5	28,3717119	44,2922351	38,1341244	156,499836	26,3954698	14,3305833	12,417671	11,4543155	11,8469709	12,0971391	12,2905718



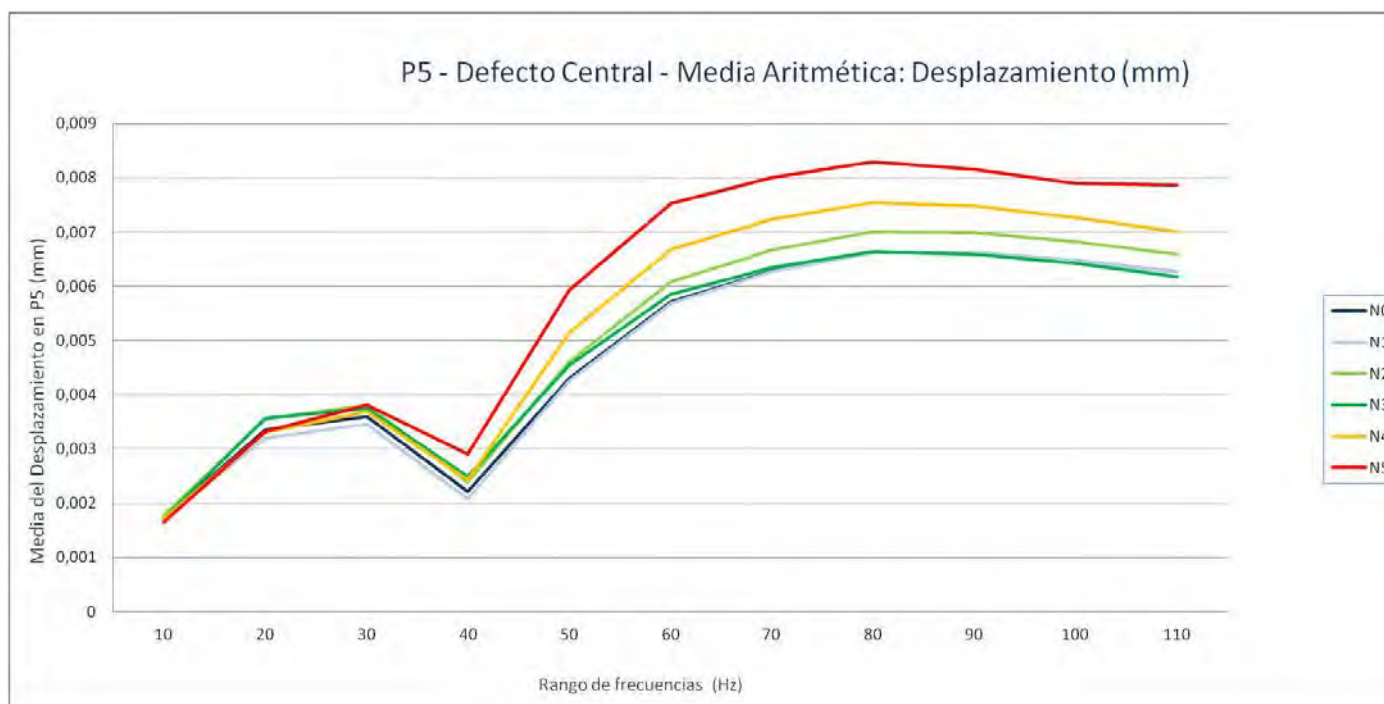
P6. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,02181261	5,79286021	4,76907501	12,1965421	4,06337597	2,99726071	2,81784718	2,71227786	2,74014151	2,75728181	2,77620572
N1	5,02576612	5,84090412	4,82873213	12,2148227	4,08992257	3,00774968	2,82359633	2,71578805	2,74116913	2,75728927	2,77671102
N2	5,03407104	5,93380427	4,96308159	12,211543	4,16711579	3,03925615	2,84127115	2,7277497	2,74844151	2,76295777	2,78575156
N3	5,02811913	5,80463718	4,77357713	12,1104294	4,03580407	2,99230559	2,81556084	2,71242399	2,74421642	2,75867652	2,78018587
N4	5,0408779	5,84083822	4,86038101	11,9126553	4,08210345	3,02743991	2,84137492	2,73675569	2,77181836	2,78871835	2,81014722
N5	5,06911122	5,93390389	5,03252255	11,6678413	4,15196125	3,10455492	2,91014153	2,80507521	2,85615562	2,87472095	2,89863273



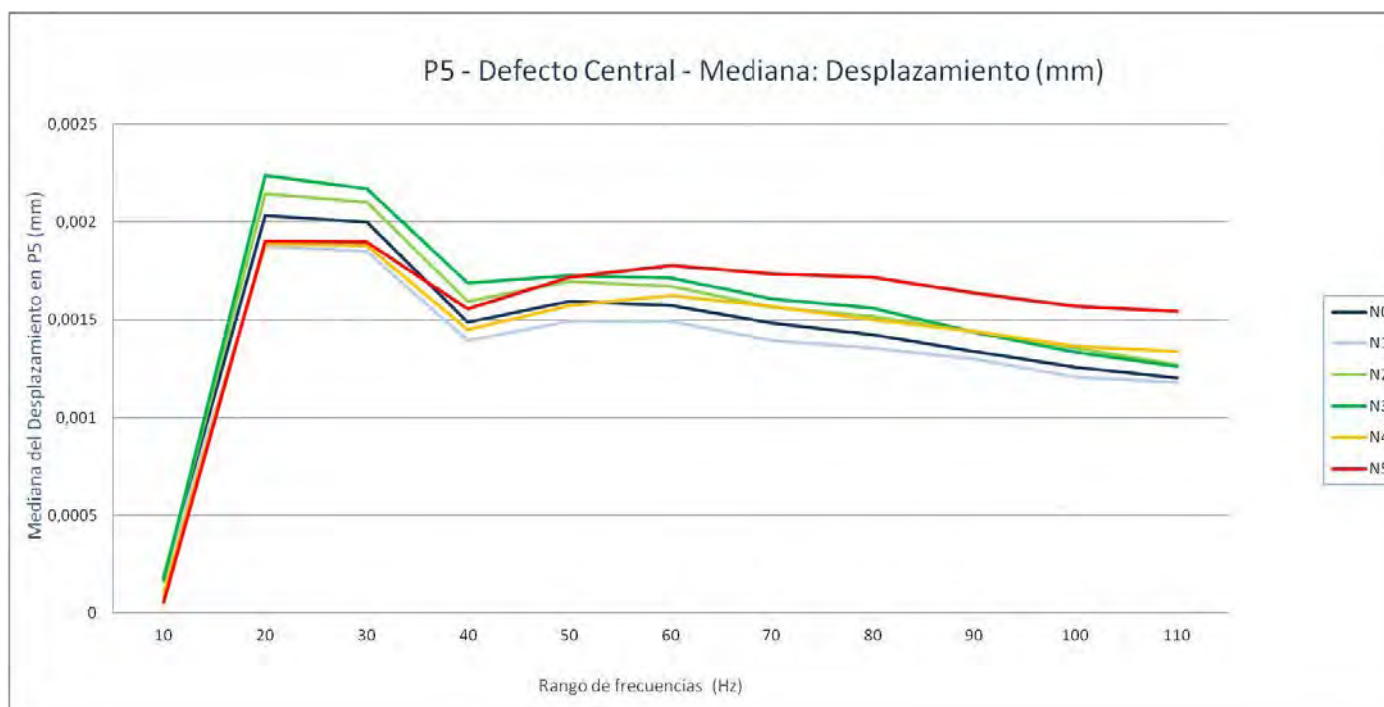
P5. Grieta central - Desplazamiento (mm): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00172769	0,00335845	0,00360569	0,00221448	0,00430166	0,00571426	0,0062855	0,0066269	0,00662046	0,00647262	0,00626406
N1	0,00171833	0,00320078	0,00346174	0,00207392	0,00425647	0,00569125	0,00627345	0,00661895	0,00662329	0,00646472	0,00626698
N2	0,00177256	0,00354805	0,00380817	0,00237908	0,00461798	0,00608095	0,00666634	0,00700924	0,00698874	0,00681541	0,00658654
N3	0,00170485	0,0035666	0,00375826	0,00248713	0,0045567	0,00585501	0,00633882	0,00663099	0,00658799	0,0064206	0,00618202
N4	0,00170408	0,0033051	0,00368358	0,0024335	0,00514354	0,00668361	0,00723892	0,00754904	0,00748352	0,00727291	0,0070027
N5	0,00165389	0,00332886	0,00381089	0,00291064	0,00593266	0,00752162	0,00800437	0,0082959	0,00815543	0,00788915	0,00787175



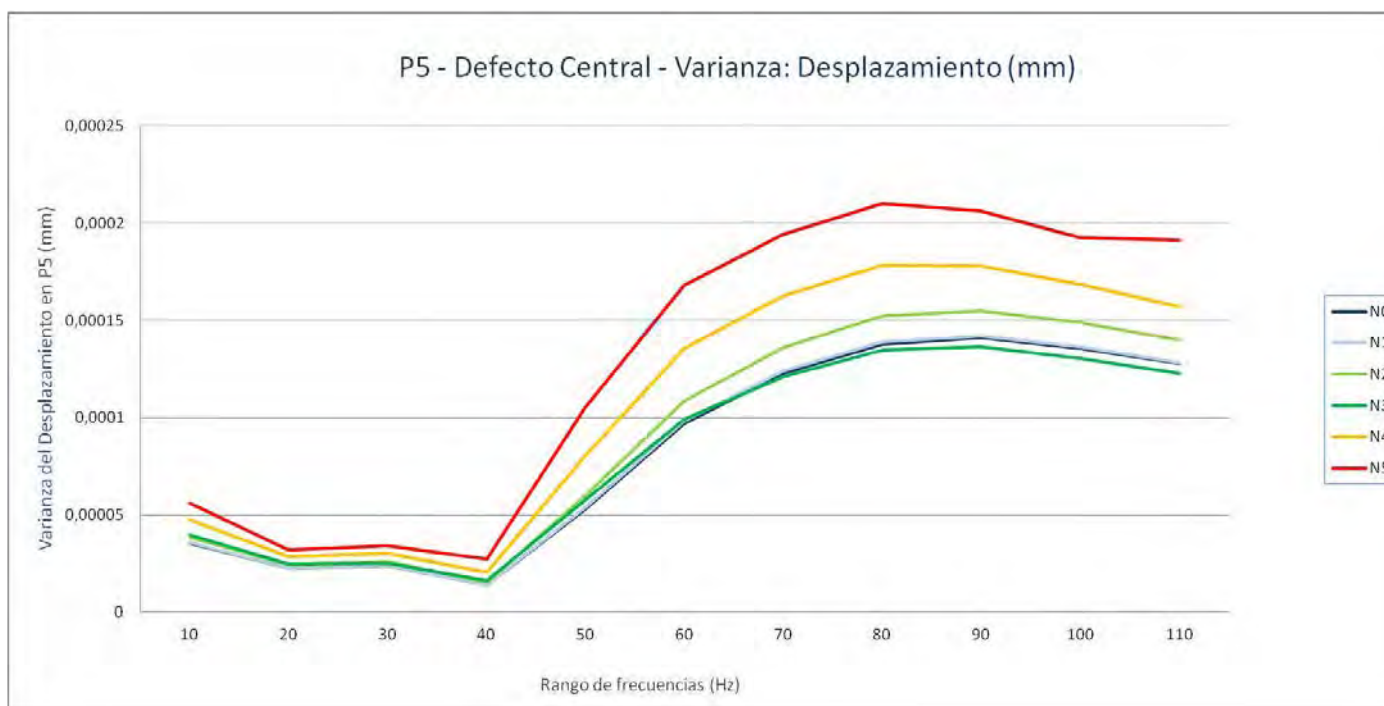
P5. Grieta central - Desplazamiento (mm): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,000187541	0,002033836	0,00199952	0,001487181	0,001593188	0,001575146	0,001482849	0,001423239	0,001339667	0,001256975	0,001202176
N1	0,000169245	0,001876548	0,001850517	0,001393633	0,001490391	0,001491874	0,001396033	0,001353671	0,001300237	0,001205912	0,00118115
N2	0,000184538	0,002142607	0,002103242	0,001596118	0,001698178	0,001669943	0,001566252	0,001516617	0,001441695	0,00135699	0,001270683
N3	0,000165238	0,002236188	0,002171655	0,001688914	0,001724611	0,001714677	0,001607544	0,001561421	0,001436521	0,00133595	0,001262688
N4	0,000101089	0,001890181	0,001879701	0,001451314	0,001571593	0,001624439	0,001570475	0,001499421	0,001440778	0,00136529	0,001339202
N5	5,61433E-05	0,001900924	0,001897219	0,001556891	0,001719059	0,001779292	0,001734324	0,00171786	0,001637137	0,0015707	0,001543907



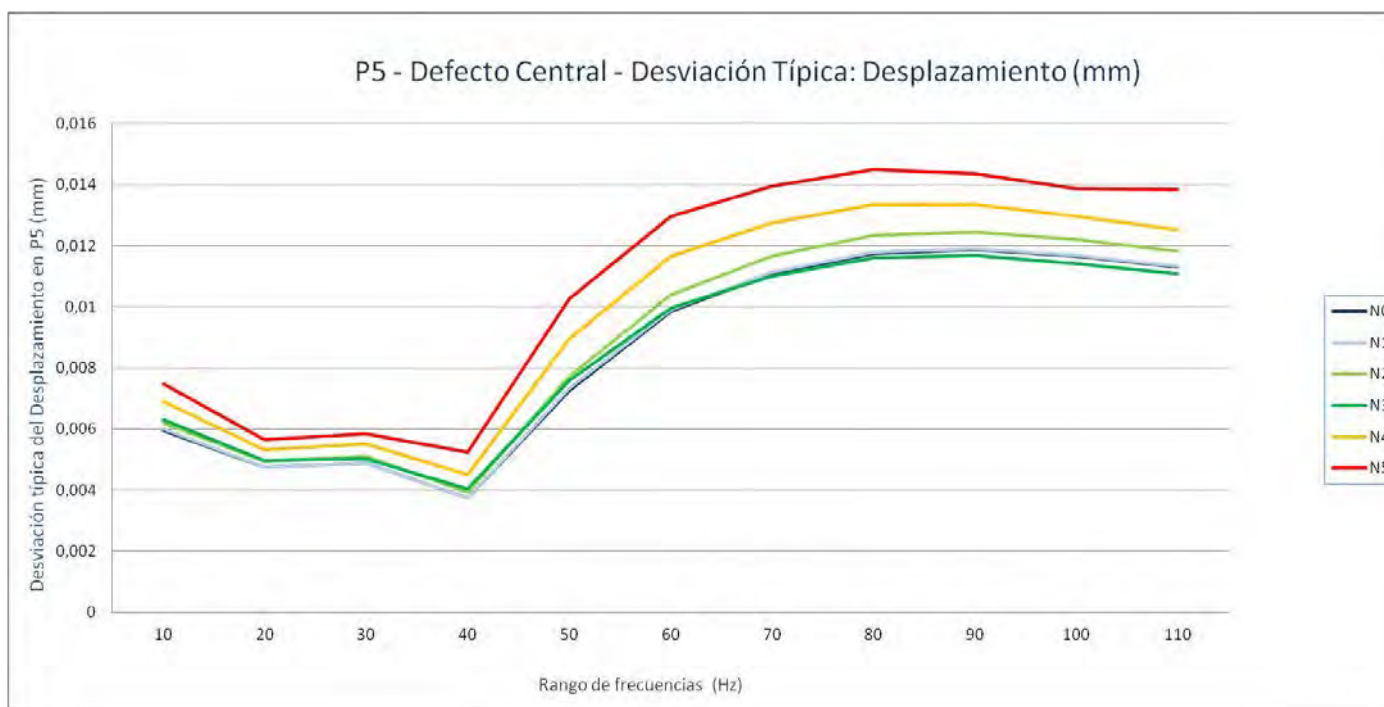
P5. Grieta central - Desplazamiento (mm): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	3,5441E-05	2,254E-05	2,3851E-05	1,4079E-05	5,2919E-05	9,6936E-05	0,00012261	0,00013785	0,00014115	0,00013582	0,00012793
N1	3,5965E-05	2,2521E-05	2,3939E-05	1,407E-05	5,3995E-05	9,8403E-05	0,00012398	0,00013903	0,00014198	0,00013666	0,0001285
N2	3,841E-05	2,4537E-05	2,6199E-05	1,5519E-05	5,9716E-05	0,00010848	0,00013612	0,00015227	0,00015501	0,00014873	0,00013975
N3	3,9681E-05	2,4599E-05	2,5133E-05	1,6261E-05	5,7689E-05	9,9163E-05	0,00012121	0,00013466	0,00013657	0,00013048	0,00012263
N4	4,768E-05	2,8503E-05	3,0306E-05	2,0359E-05	8,0461E-05	0,00013568	0,00016261	0,00017853	0,00017814	0,00016844	0,000157
N5	5,6091E-05	3,2092E-05	3,4122E-05	2,7566E-05	0,00010542	0,00016819	0,00019442	0,00021005	0,00020613	0,00019238	0,0001914



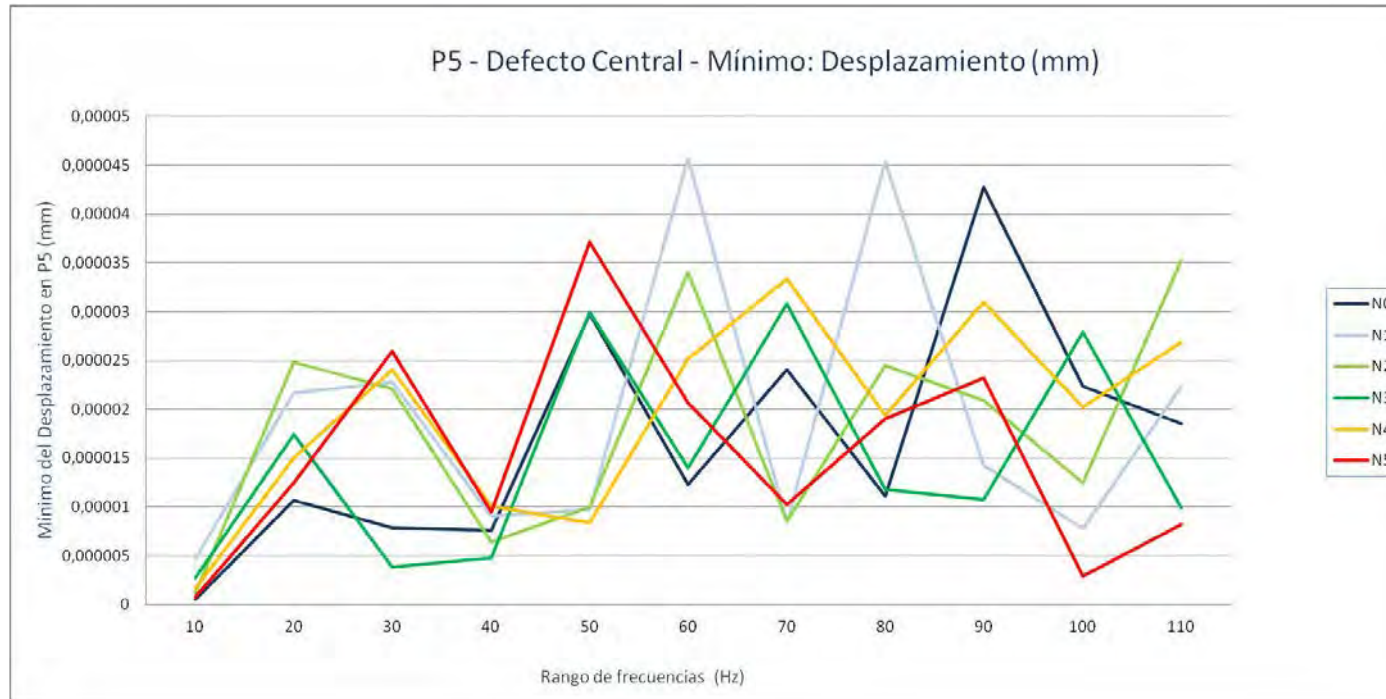
P5. Grieta central - Desplazamiento (mm): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,005953242	0,004747676	0,004883795	0,003752254	0,007274564	0,009845622	0,011072815	0,011740836	0,011880601	0,01165411	0,011310504
N1	0,005997044	0,004745602	0,004892712	0,003750951	0,007348113	0,009919827	0,011134656	0,011791131	0,011915644	0,011690275	0,011335703
N2	0,006197571	0,004953453	0,005118458	0,003939428	0,007727611	0,010415206	0,011667221	0,012339639	0,012450136	0,012195453	0,011821442
N3	0,006299256	0,004959772	0,005013274	0,004032523	0,007595338	0,009958086	0,011009326	0,011604192	0,011686297	0,011422754	0,011074066
N4	0,006905054	0,005338822	0,005505101	0,004512077	0,008970011	0,011648169	0,012751762	0,01336143	0,013346975	0,012978279	0,012529831
N5	0,007489365	0,005664944	0,00584144	0,00525029	0,010267626	0,012968633	0,013943328	0,014493271	0,014357252	0,013870035	0,013834755



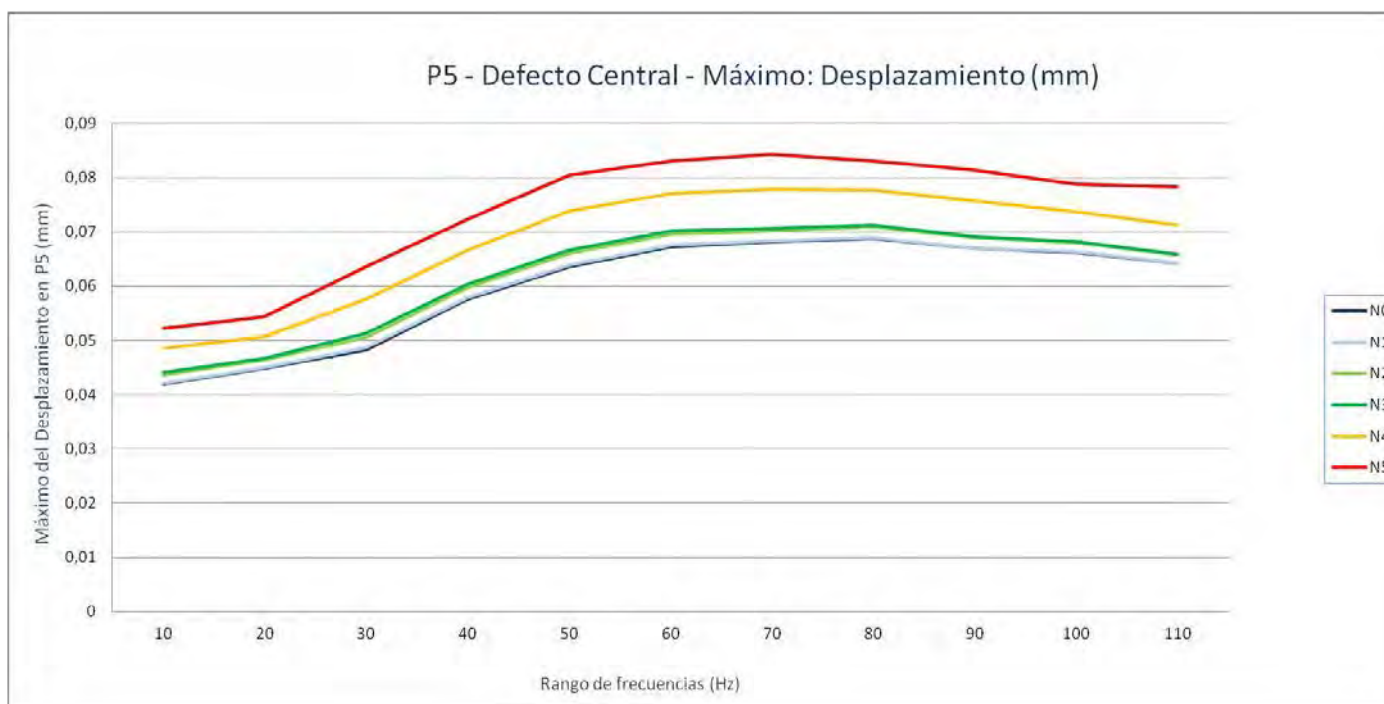
P5. Grieta central - Desplazamiento (mm): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,4361E-07	1,0691E-05	7,884E-06	7,6483E-06	2,9773E-05	1,2327E-05	2,4028E-05	1,1136E-05	4,2716E-05	2,237E-05	1,8502E-05
N1	4,6767E-06	2,1685E-05	2,2795E-05	9,0472E-06	9,7655E-06	4,5719E-05	8,3951E-06	4,5389E-05	1,4249E-05	7,7481E-06	2,238E-05
N2	1,1842E-06	2,4826E-05	2,2104E-05	6,3744E-06	9,9922E-06	3,4032E-05	8,5784E-06	2,4495E-05	2,0911E-05	1,2503E-05	3,5252E-05
N3	2,7604E-06	1,7393E-05	3,8641E-06	4,8055E-06	2,9984E-05	1,3968E-05	3,0846E-05	1,1767E-05	1,0722E-05	2,7882E-05	9,921E-06
N4	1,5972E-06	1,5067E-05	2,4057E-05	1,0112E-05	8,3542E-06	2,5169E-05	3,3331E-05	1,9385E-05	3,0979E-05	2,0256E-05	2,6856E-05
N5	8,1334E-07	1,2466E-05	2,5942E-05	9,4996E-06	3,7115E-05	2,0696E-05	1,0232E-05	1,8998E-05	2,3225E-05	2,9332E-06	8,213E-06



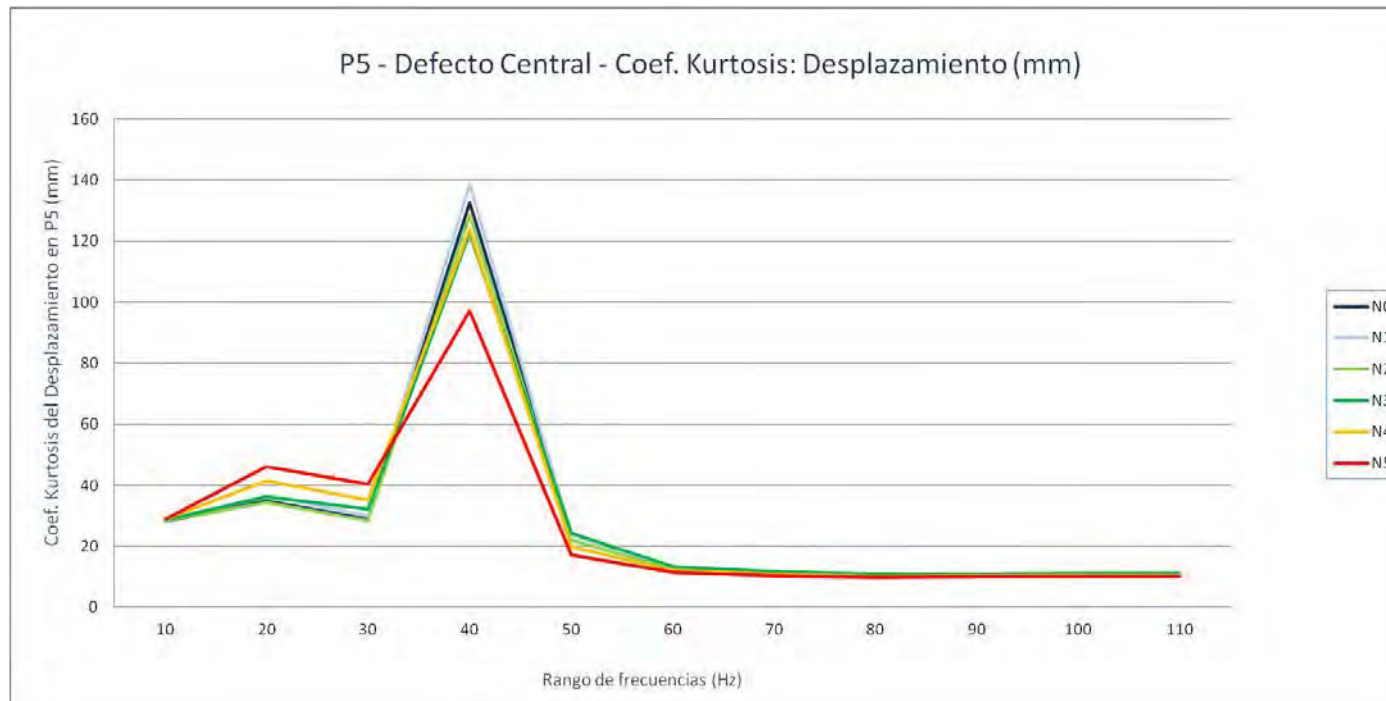
P5. Grieta central - Desplazamiento (mm): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,04194707	0,04480152	0,0482784	0,05752984	0,06352127	0,06729899	0,06816734	0,06882539	0,06699871	0,06626292	0,0641863
N1	0,04213963	0,04495841	0,04870354	0,0578619	0,06384118	0,06753032	0,06835749	0,0689227	0,06700366	0,06630492	0,06417455
N2	0,04369767	0,04634161	0,05056796	0,05977639	0,06603737	0,06964043	0,07025906	0,07089696	0,06897282	0,06800798	0,06579246
N3	0,04410983	0,04666493	0,05135352	0,0604046	0,06666926	0,07013583	0,07067988	0,07119	0,069096	0,06820085	0,06590179
N4	0,04854935	0,05070178	0,0576375	0,06667411	0,07390244	0,0770272	0,07788656	0,07763752	0,0756677	0,07376693	0,07120963
N5	0,05229608	0,05434666	0,06354588	0,0723944	0,08040801	0,08303992	0,08435597	0,08310841	0,08134691	0,07877603	0,07828725



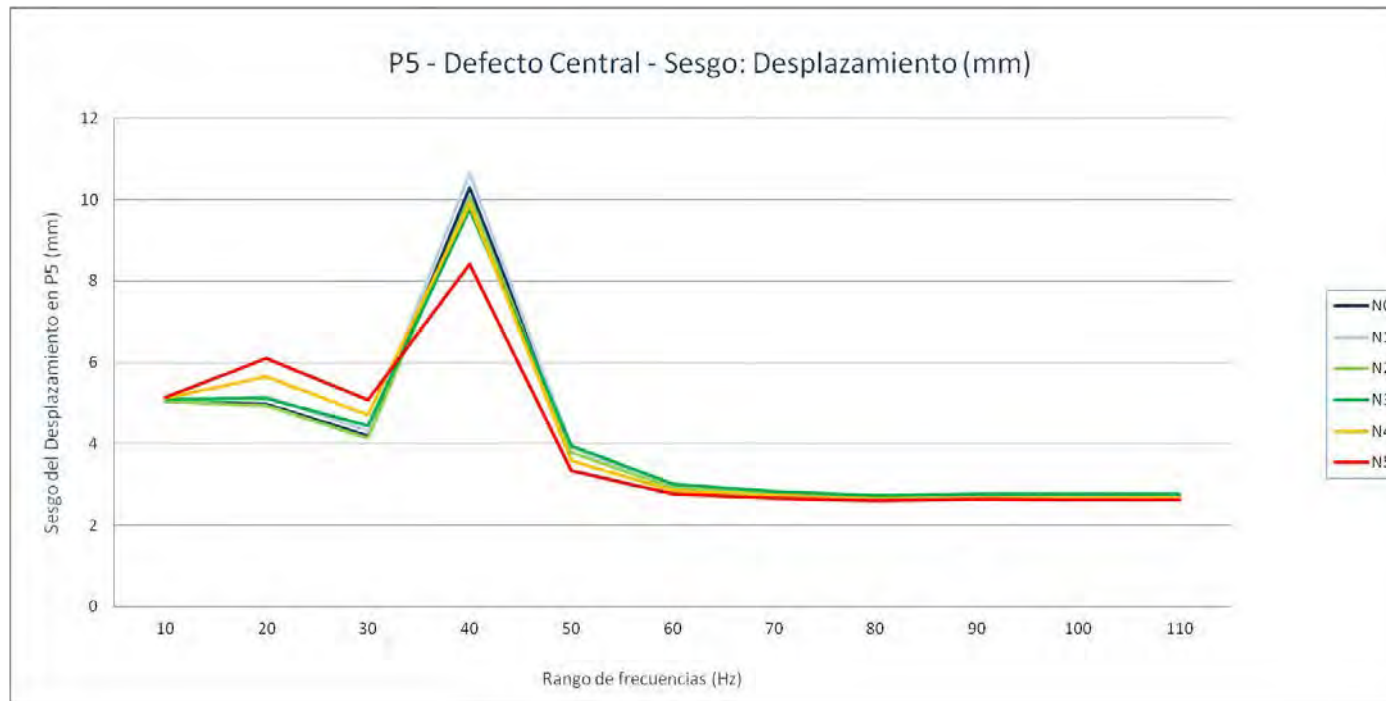
P5. Grieta central - Desplazamiento (mm): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	28,1964224	34,7927295	28,8762521	132,730365	23,9078748	12,7436751	11,219629	10,3983155	10,5260531	10,6368161	10,7133995
N1	28,1608473	36,438096	29,9951863	138,60505	23,6686603	12,6075918	11,0826396	10,2650394	10,3883759	10,4779651	10,5671385
N2	28,3053339	34,3470842	28,2545709	128,49899	22,1878607	12,254757	10,9238275	10,1673263	10,2877125	10,3637628	10,4185976
N3	28,6012888	36,3240468	32,2451746	122,894513	24,2443375	13,410014	11,6953483	10,7752679	10,9693139	11,0861223	11,1697056
N4	28,8206489	41,5898361	35,2116344	123,758734	19,9436472	12,0043806	10,7984096	10,0749598	10,2912758	10,3387455	10,3734944
N5	28,9324038	46,1985815	40,4226897	97,097866	17,1869124	11,3539932	10,427327	9,8438634	10,1029769	10,1145738	10,0342268



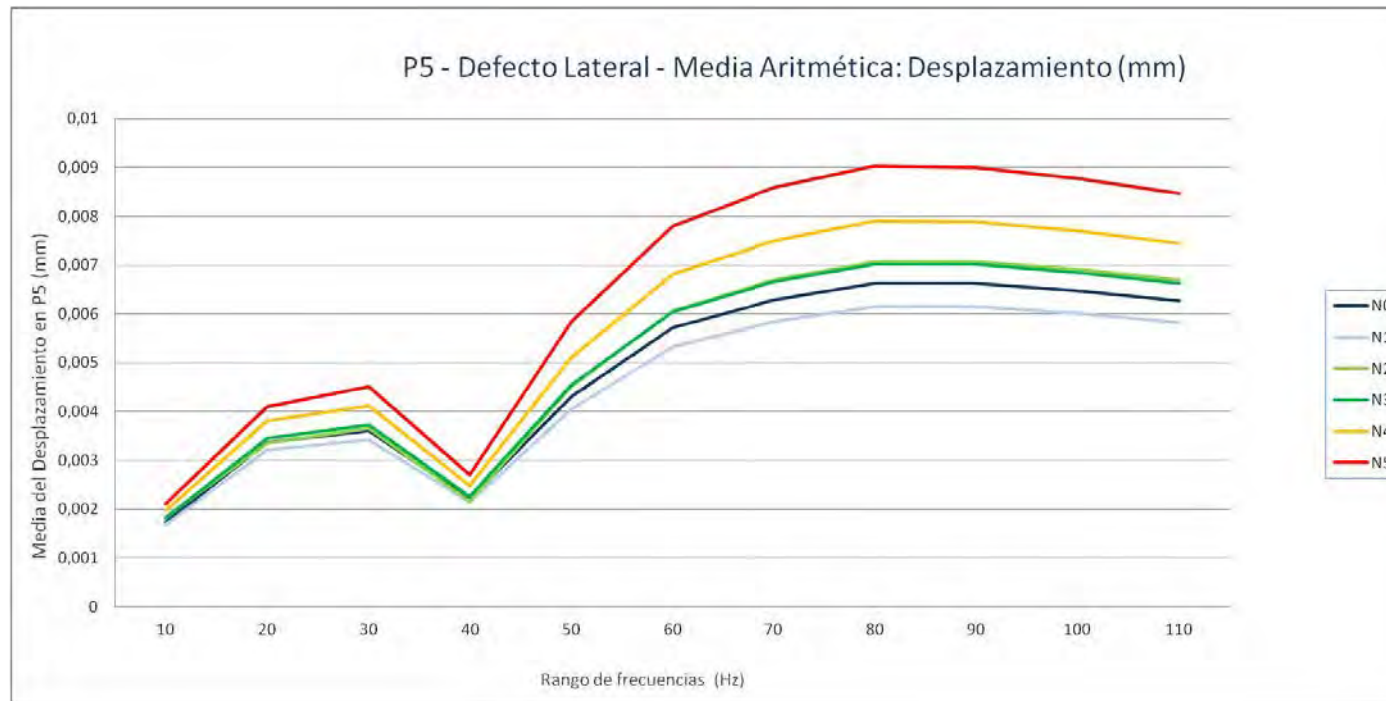
P5. Grieta central - Desplazamiento (mm): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,03195876	4,98452551	4,20744079	10,3035823	3,92961199	2,9532249	2,7957692	2,69626882	2,7174479	2,72440005	2,7332882
N1	5,03081926	5,15662755	4,3182821	10,650803	3,91425943	2,93842073	2,77967279	2,67985212	2,70064368	2,70497916	2,71577775
N2	5,04628444	4,93851546	4,14188926	10,0761912	3,78454707	2,90075498	2,76127001	2,66796685	2,68743788	2,69107357	2,69783612
N3	5,09274346	5,12720196	4,43784635	9,77645638	3,94957058	3,00782975	2,83383741	2,72980613	2,75731086	2,76486176	2,77465286
N4	5,12947136	5,65883302	4,71136692	9,88488111	3,59355754	2,85793009	2,72902603	2,64331119	2,6699259	2,67017564	2,67675832
N5	5,15060171	6,10207696	5,07145847	8,41039226	3,33709267	2,77195644	2,6709488	2,60281292	2,63556041	2,62960142	2,61990599



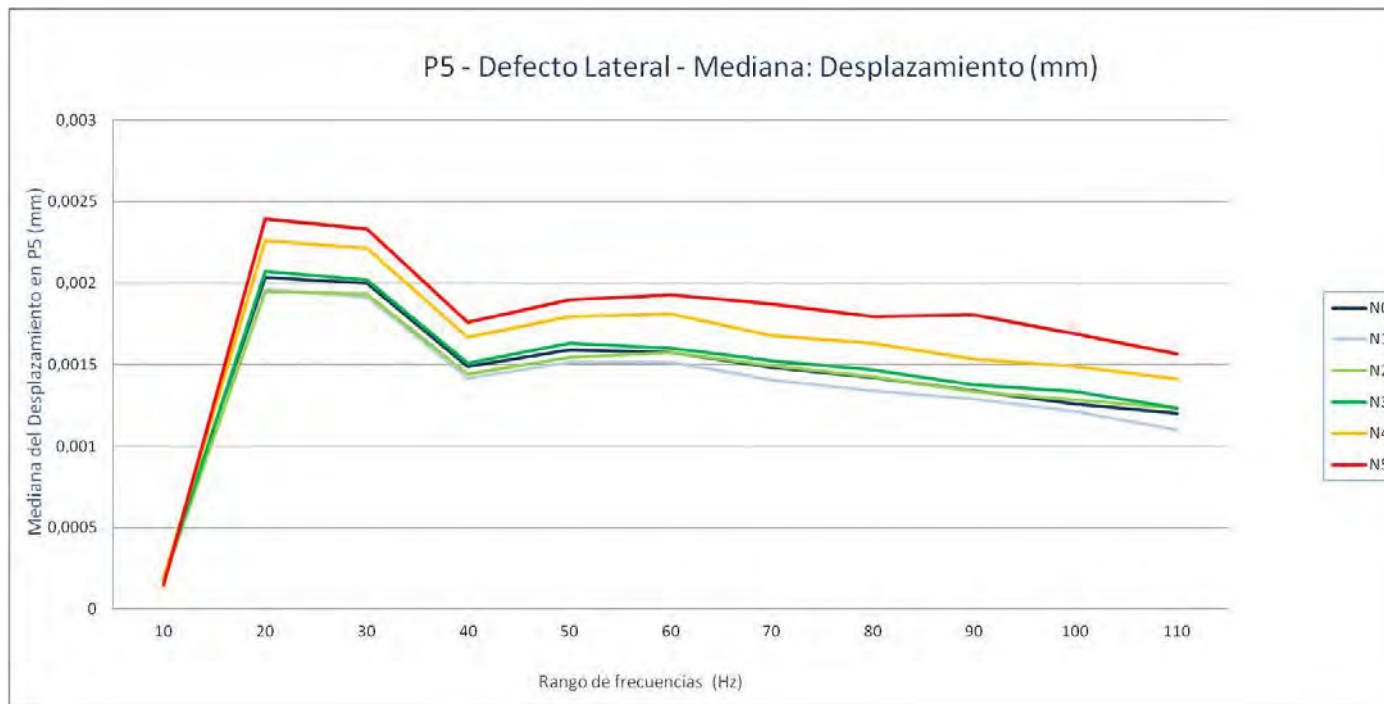
P5. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00172769	0,00335845	0,00360569	0,00221448	0,00430166	0,00571426	0,0062855	0,0066269	0,00662046	0,00647262	0,00626406
N1	0,00168121	0,00321269	0,00341678	0,00213506	0,0040413	0,00532596	0,00583811	0,00615045	0,00614759	0,00601072	0,0058185
N2	0,00182697	0,00335411	0,00365338	0,00215724	0,00451161	0,00606376	0,00670068	0,00706863	0,0070742	0,00691306	0,00669624
N3	0,00181595	0,00345514	0,00372025	0,00225838	0,00454016	0,00604127	0,00665047	0,00701167	0,00700862	0,00684266	0,00662409
N4	0,00196336	0,00381084	0,00411926	0,00248745	0,00510615	0,00680943	0,00750218	0,00790077	0,00788319	0,00769843	0,00743561
N5	0,00210059	0,00409742	0,00451674	0,00270586	0,00583518	0,00779582	0,00858672	0,00902255	0,00899364	0,00877581	0,00846366



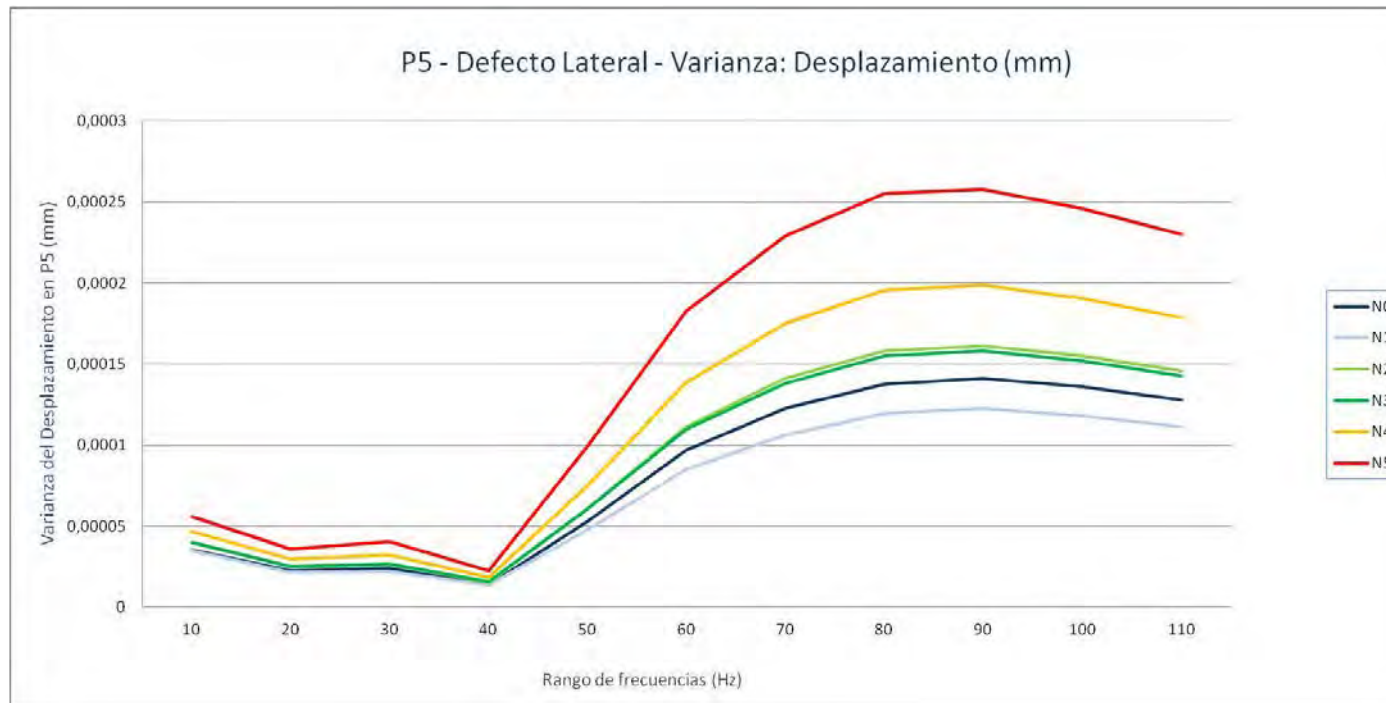
P5. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,000187541	0,002033836	0,00199952	0,001487181	0,001593188	0,001575146	0,001482849	0,001423239	0,001339667	0,001256975	0,001202176
N1	0,00017516	0,001961984	0,001912273	0,001416793	0,001516234	0,001513282	0,001407504	0,001340598	0,001291144	0,001211727	0,001100336
N2	0,000176777	0,001948305	0,001933369	0,001440133	0,001546176	0,001576582	0,001495388	0,001428427	0,001336388	0,001281351	0,001234917
N3	0,000177154	0,002073033	0,002021112	0,00150911	0,001630561	0,001600871	0,001525912	0,001469542	0,001374042	0,001333945	0,001232835
N4	0,000184377	0,00226086	0,002215951	0,001668821	0,001795465	0,001811601	0,001677219	0,001632045	0,001536178	0,001488077	0,001410769
N5	0,000150111	0,00239434	0,002332826	0,001761344	0,001897535	0,001927625	0,001870609	0,001794572	0,001808269	0,001689342	0,001563297



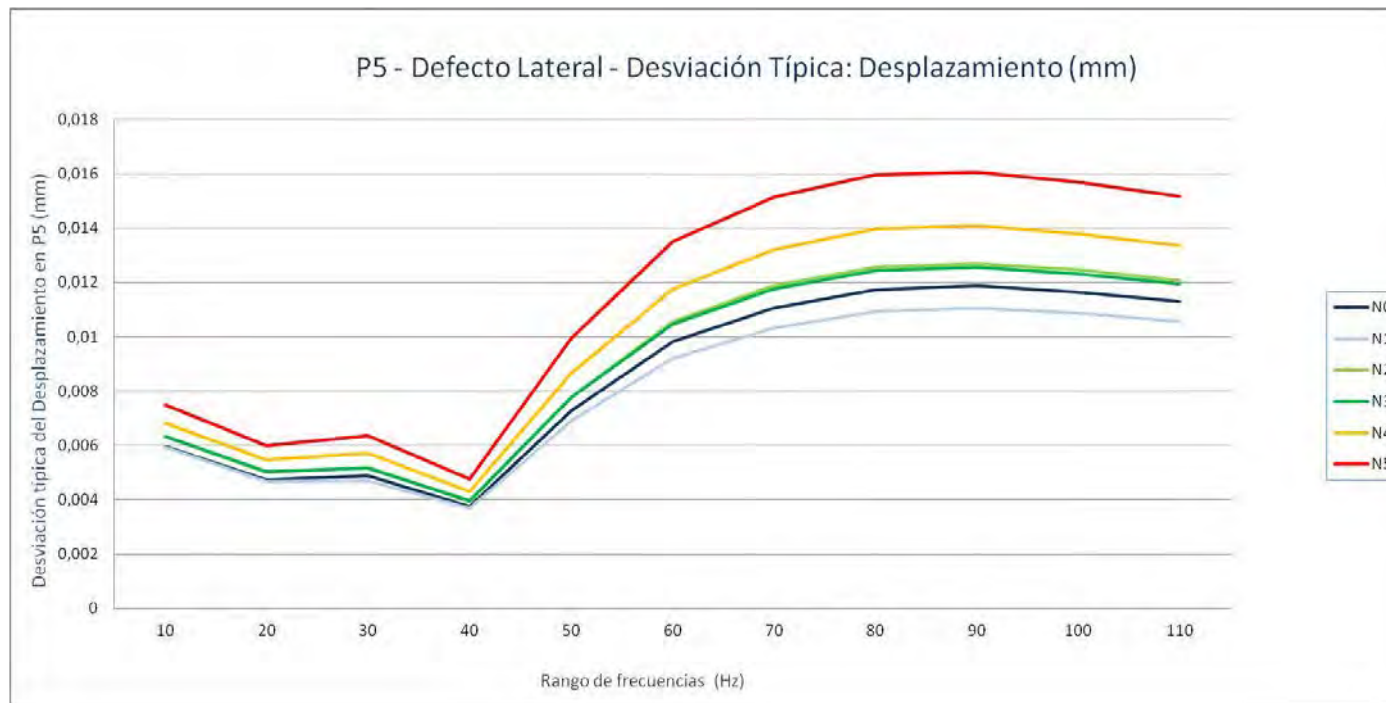
P5. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	3,5441E-05	2,254E-05	2,3851E-05	1,4079E-05	5,2919E-05	9,6936E-05	0,00012261	0,00013785	0,00014115	0,00013582	0,00012793
N1	3,5079E-05	2,1719E-05	2,2072E-05	1,3689E-05	4,7899E-05	8,5067E-05	0,00010638	0,0001194	0,00012249	0,00011809	0,0001114
N2	4,0025E-05	2,5157E-05	2,6919E-05	1,5488E-05	6,0591E-05	0,00011157	0,00014119	0,00015816	0,00016124	0,00015518	0,00014588
N3	4,0261E-05	2,5294E-05	2,6821E-05	1,5838E-05	6,0359E-05	0,00010984	0,00013824	0,000155	0,00015818	0,00015207	0,00014299
N4	4,6735E-05	2,9785E-05	3,2531E-05	1,8633E-05	7,5101E-05	0,00013843	0,00017484	0,00019546	0,0001986	0,00019031	0,00017872
N5	5,6118E-05	3,5952E-05	4,0488E-05	2,2787E-05	9,9225E-05	0,0001827	0,00022918	0,00025531	0,00025774	0,00024591	0,00023029



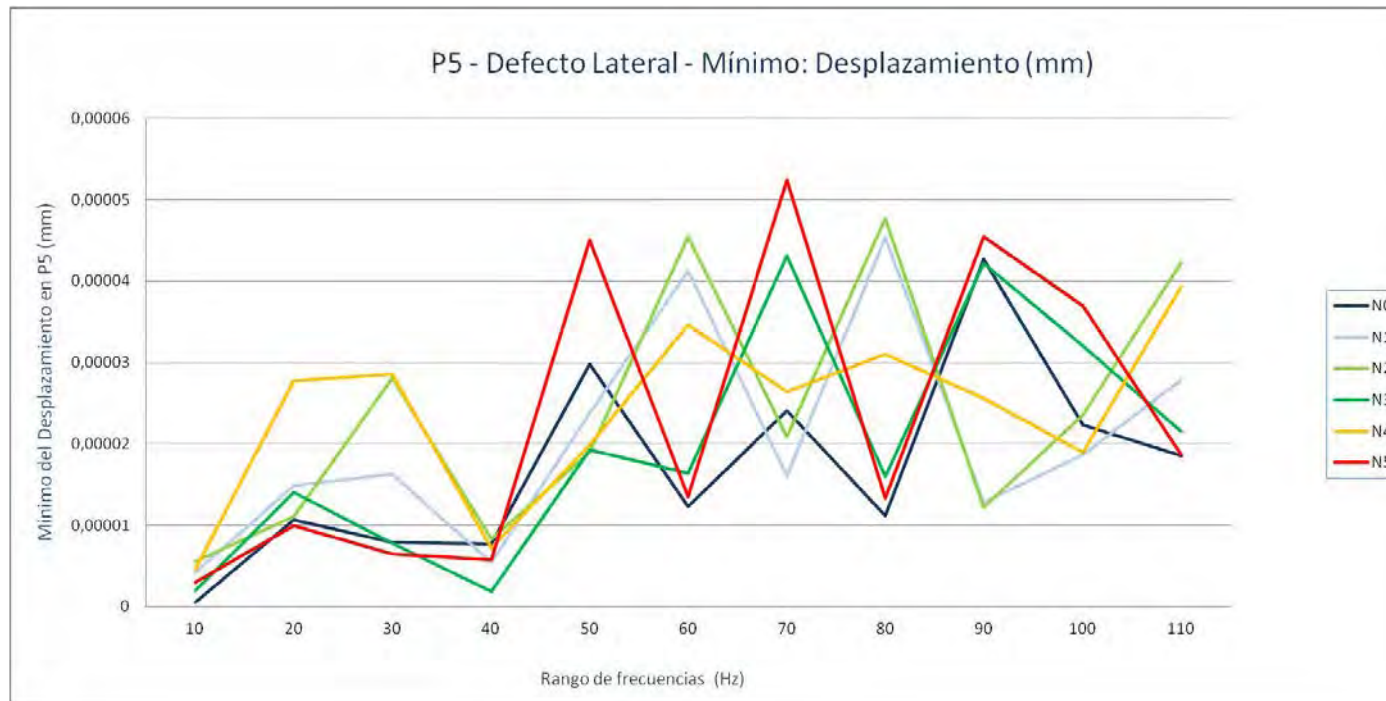
P5. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,005953242	0,004747676	0,004883795	0,003752254	0,007274564	0,009845622	0,011072815	0,011740836	0,011880601	0,01165411	0,011310504
N1	0,005922772	0,004660384	0,004698117	0,003699925	0,00692089	0,009223165	0,010314273	0,010926822	0,011067578	0,010866716	0,010554524
N2	0,006326516	0,005015719	0,005188312	0,003935525	0,007784015	0,010562604	0,01188245	0,012576071	0,012697932	0,012457129	0,012078142
N3	0,006345131	0,005029293	0,005178877	0,003979718	0,007769077	0,0104806	0,011757668	0,012449868	0,012576785	0,012331526	0,011957834
N4	0,006836315	0,005457556	0,005703598	0,004316594	0,008666076	0,011765703	0,013222591	0,013980566	0,014092404	0,013795162	0,013368518
N5	0,007491196	0,005995977	0,006363032	0,004773556	0,009961183	0,013516487	0,015138721	0,015978565	0,016054361	0,015681578	0,015175468



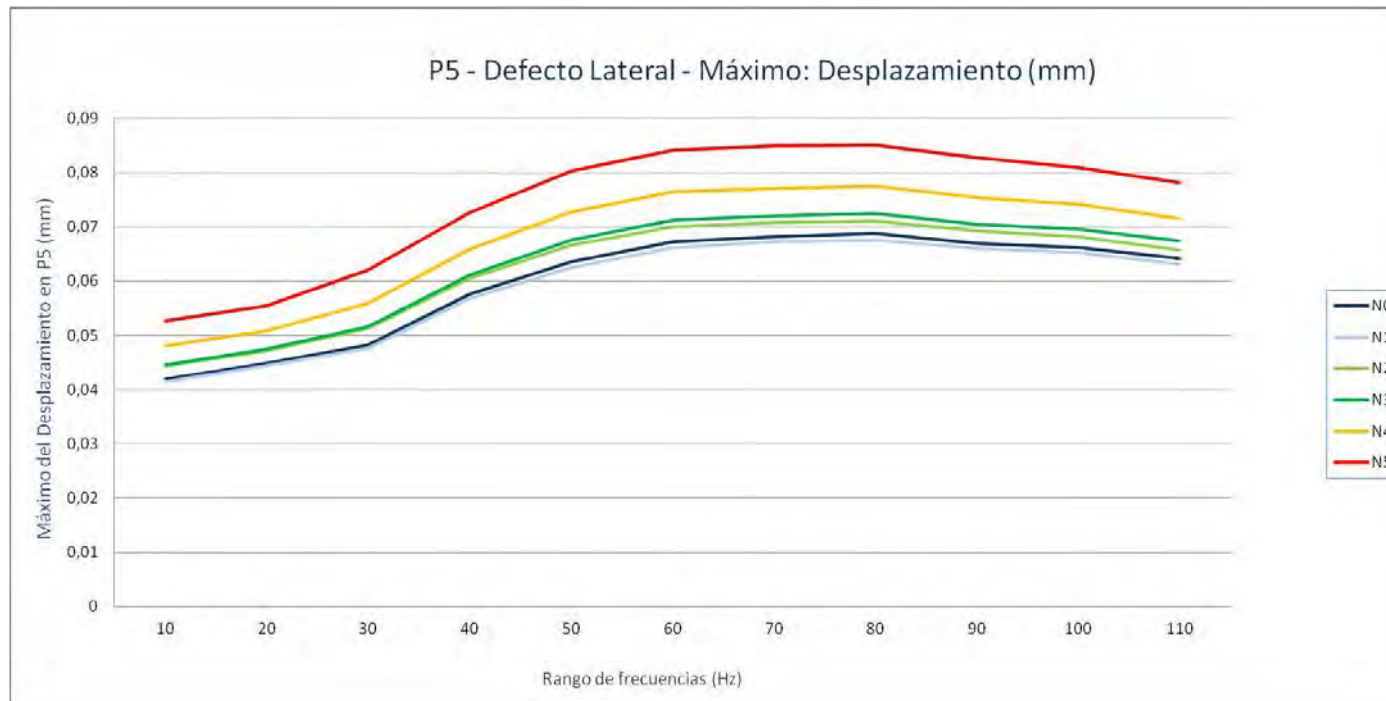
P5. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,4361E-07	1,0691E-05	7,884E-06	7,6483E-06	2,9773E-05	1,2327E-05	2,4028E-05	1,1136E-05	4,2716E-05	2,237E-05	1,8502E-05
N1	4,2185E-06	1,4887E-05	1,6315E-05	5,4552E-06	2,3736E-05	4,1235E-05	1,613E-05	4,5362E-05	1,2771E-05	1,869E-05	2,7867E-05
N2	5,5927E-06	1,1084E-05	2,8051E-05	8,3367E-06	1,8966E-05	4,5458E-05	2,0919E-05	4,7751E-05	1,2218E-05	2,3532E-05	4,2243E-05
N3	1,9245E-06	1,3998E-05	7,7691E-06	1,9036E-06	1,9257E-05	1,6409E-05	4,3121E-05	1,6018E-05	4,2178E-05	3,2093E-05	2,1527E-05
N4	4,6425E-06	2,7755E-05	2,8579E-05	7,1361E-06	1,9907E-05	3,4641E-05	2,6439E-05	3,1026E-05	2,5655E-05	1,8909E-05	3,9301E-05
N5	3,0225E-06	9,9778E-06	6,484E-06	5,7323E-06	4,5005E-05	1,357E-05	5,2372E-05	1,3298E-05	4,5494E-05	3,6971E-05	1,8685E-05



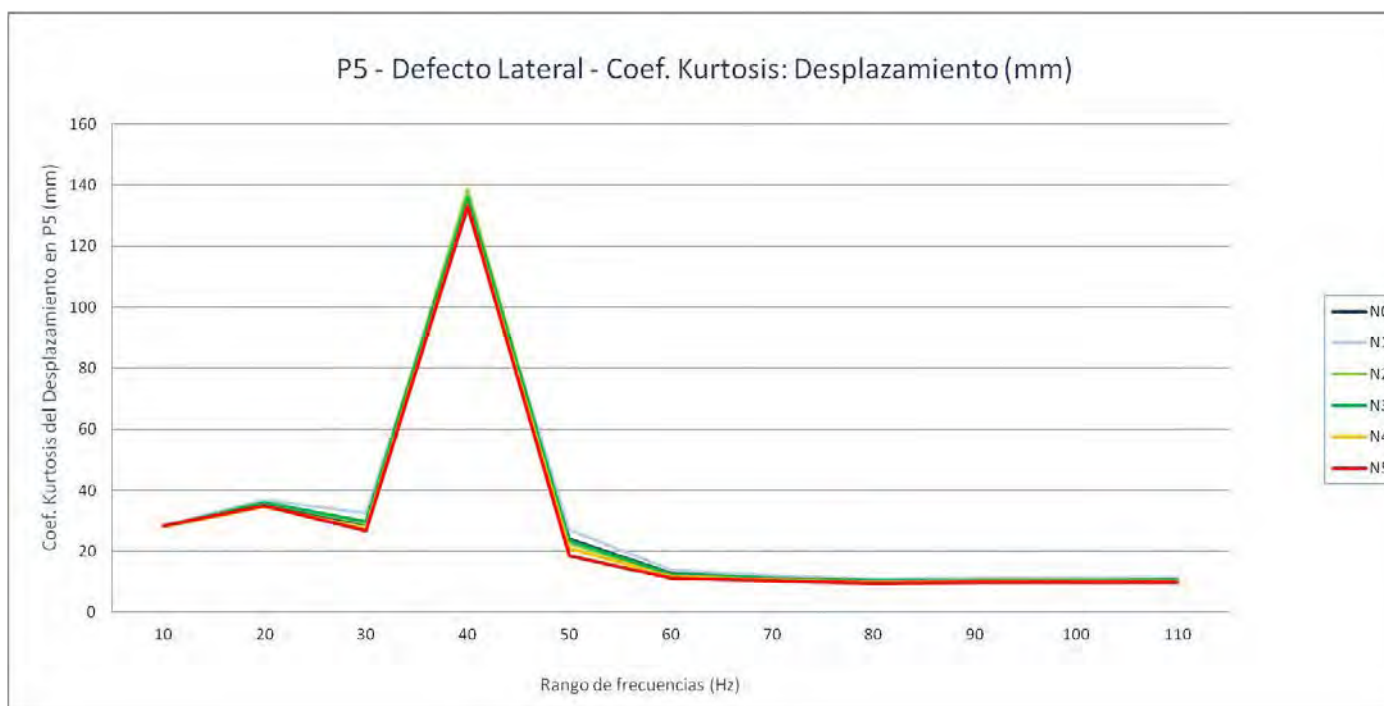
P5. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,04194707	0,04480152	0,0482784	0,05752984	0,06352127	0,06729899	0,06816734	0,06882539	0,06699871	0,06626292	0,0641863
N1	0,04145482	0,04438698	0,04764735	0,05676563	0,06249328	0,06622546	0,06723995	0,06763774	0,06604981	0,06521905	0,06310013
N2	0,04440996	0,0471682	0,05130471	0,06048329	0,06658754	0,07009098	0,07078391	0,07106894	0,06921987	0,0681699	0,06580254
N3	0,04460525	0,04749192	0,05157599	0,06117676	0,06750469	0,07126998	0,07199819	0,0725615	0,07047743	0,06964777	0,06735119
N4	0,04812736	0,05088979	0,05596386	0,06589143	0,07281022	0,07651297	0,07711705	0,07757349	0,07539901	0,07415427	0,07163922
N5	0,05272404	0,05537727	0,0620551	0,07259971	0,08038405	0,08412499	0,08499204	0,08500214	0,08280635	0,08089491	0,0781084



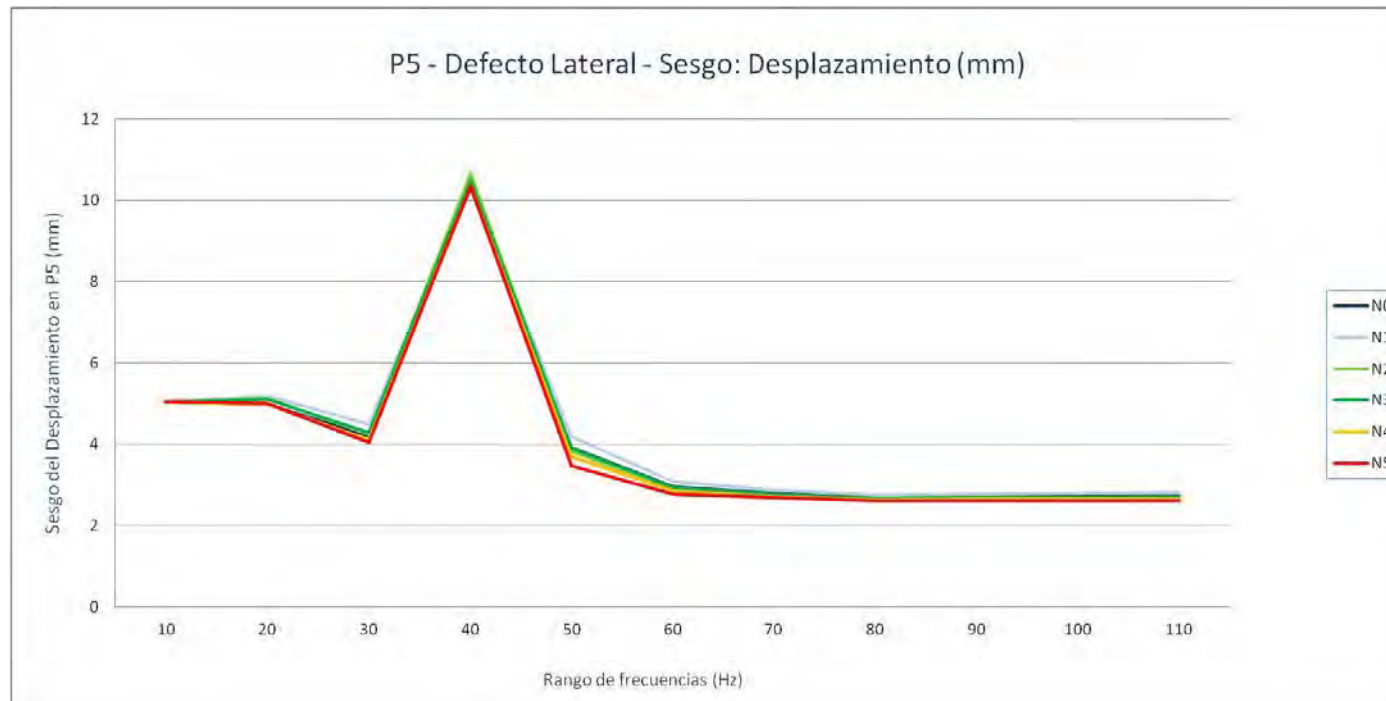
P5. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	28,1964224	34,7927295	28,8762521	132,730365	23,9078748	12,7436751	11,219629	10,3983155	10,5260531	10,6368161	10,7133995
N1	28,2675198	36,8195969	32,4246969	134,203385	27,1021411	14,0060523	12,0052972	10,9900868	11,1242092	11,2703307	11,4016402
N2	28,1039629	36,0692723	29,0995091	138,607663	22,5507419	12,0124169	10,6279544	9,87309264	9,92045293	9,97404129	10,0342168
N3	28,2038177	35,9541012	29,7000192	135,949009	23,5658611	12,5948091	11,0875081	10,272421	10,3833574	10,4577474	10,5227019
N4	28,1875619	34,7517201	27,5471695	133,311857	21,0289783	11,7292061	10,5615913	9,87704274	9,95652442	10,0013076	10,0171218
N5	28,2854848	34,8484141	26,6294758	133,16266	18,6033465	11,0860036	10,2347274	9,63758769	9,72119655	9,75233178	9,74058448



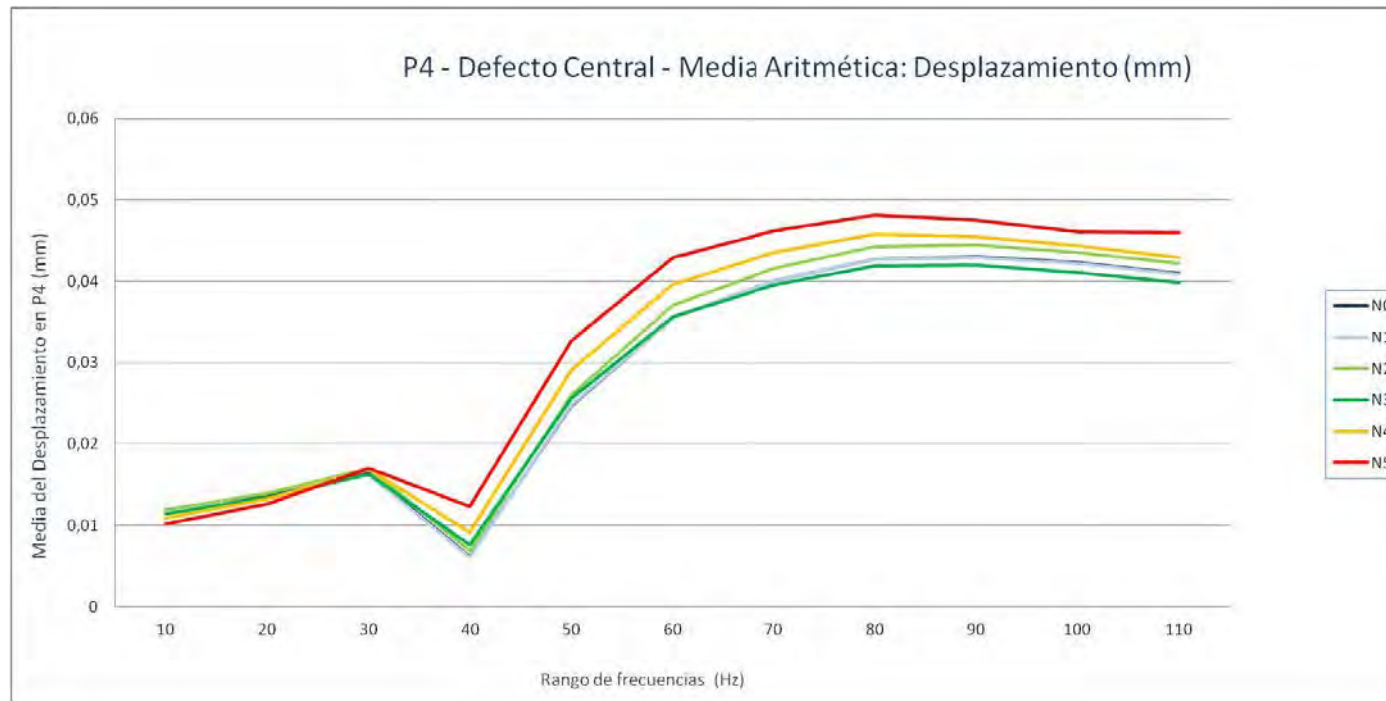
P5. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,03195876	4,98452551	4,20744079	10,3035823	3,92961199	2,9532249	2,7957692	2,69626882	2,7174479	2,72440005	2,7332882
N1	5,04752269	5,18429503	4,50016002	10,405857	4,1919898	3,07595731	2,87606982	2,76032755	2,78361812	2,79328305	2,80808157
N2	5,02270568	5,12691812	4,25191351	10,6704595	3,82132983	2,87825523	2,73181351	2,63589376	2,64666717	2,64879368	2,65619874
N3	5,03536463	5,10537342	4,28412225	10,4958013	3,90359396	2,93676564	2,78012536	2,68084798	2,69977846	2,70260285	2,71020922
N4	5,03055285	4,99172228	4,10317531	10,3503211	3,68996684	2,84864351	2,7235537	2,63608322	2,64992222	2,65069949	2,65263803
N5	5,04310519	5,00760637	4,03952505	10,3482987	3,4822799	2,77872985	2,68462658	2,60485623	2,61869055	2,61826676	2,61678709



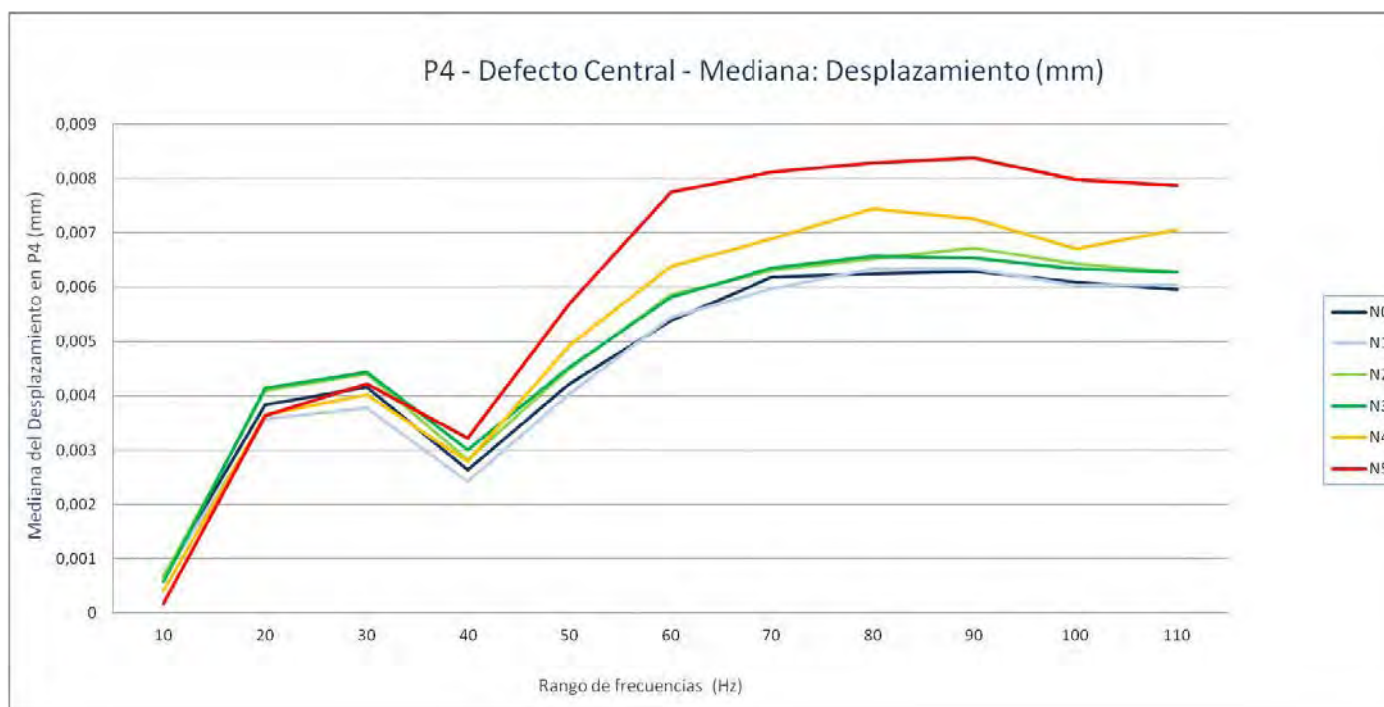
P4. Grieta central - Desplazamiento (mm): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,01196018	0,01357576	0,01643479	0,00621691	0,02473025	0,03554424	0,04006013	0,04276598	0,04302919	0,04226018	0,04099109
N1	0,01185491	0,01334599	0,01624764	0,0061268	0,02477439	0,03555736	0,04004259	0,0427219	0,04294581	0,04217075	0,04086522
N2	0,01194755	0,01394349	0,01699089	0,0068953	0,02606369	0,03708755	0,04159289	0,04424895	0,04441951	0,04354764	0,042198
N3	0,01139592	0,01345903	0,01629128	0,00758059	0,0256301	0,03564114	0,03959224	0,04194867	0,04203025	0,04106825	0,03982197
N4	0,01087927	0,01329073	0,01694105	0,00917998	0,02908344	0,03960114	0,043534	0,04576203	0,04552475	0,04438914	0,0428799
N5	0,01018459	0,01263423	0,01703713	0,0122794	0,03266497	0,04290782	0,04616892	0,04812348	0,04754214	0,04607018	0,04600621



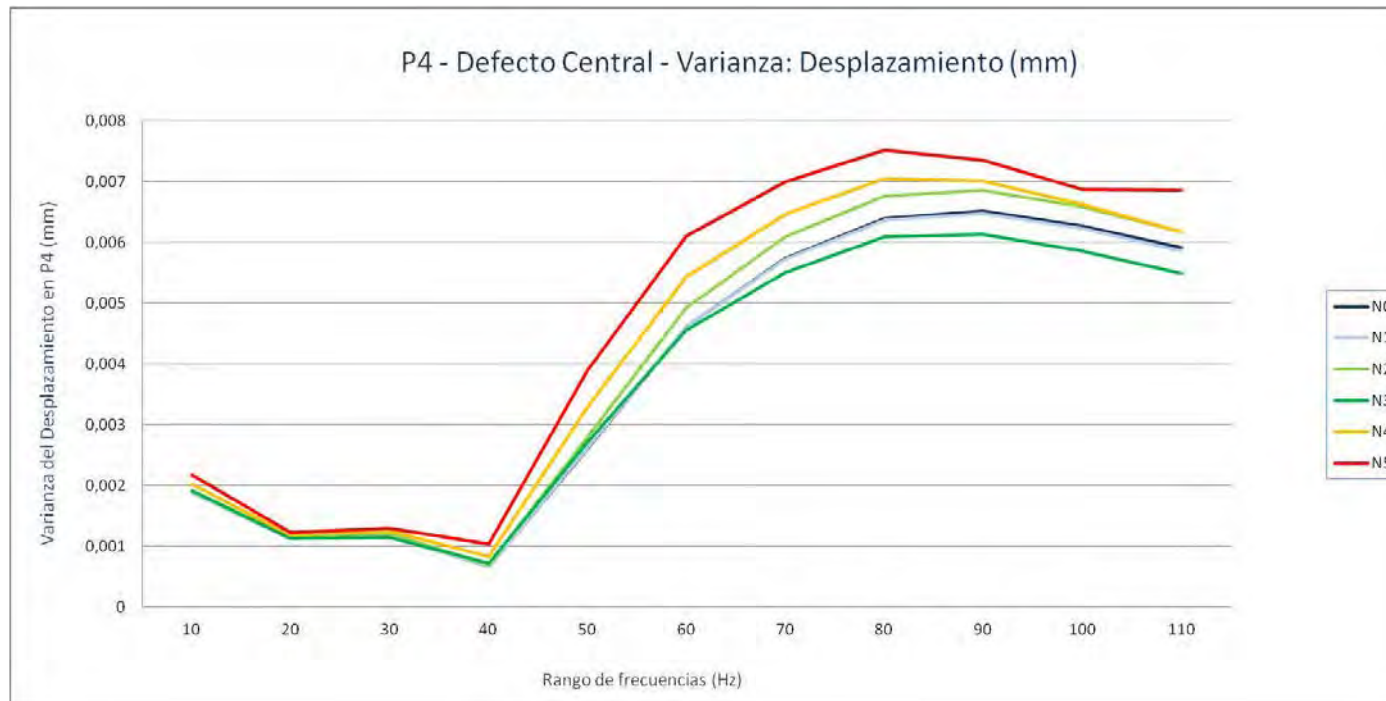
P4. Grieta central - Desplazamiento (mm): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,000681005	0,003839604	0,00415555	0,002631758	0,004227194	0,005385466	0,006192503	0,006250754	0,006287649	0,006095547	0,005959346
N1	0,000656638	0,003568532	0,003780302	0,00242525	0,004036844	0,005448544	0,00596617	0,00633493	0,006338091	0,006036325	0,006039326
N2	0,000655284	0,004100337	0,00441028	0,002822757	0,004500114	0,005859226	0,00631139	0,006528022	0,006721718	0,006433043	0,006279356
N3	0,00058169	0,004147312	0,004440513	0,003002179	0,004521712	0,005811147	0,006355994	0,006563967	0,006540228	0,006336753	0,006273239
N4	0,00040874	0,003644704	0,004012833	0,002794886	0,004923094	0,006385376	0,006892163	0,007448036	0,007263074	0,006710747	0,007061023
N5	0,000186621	0,003633193	0,004214903	0,003224076	0,005690693	0,007748674	0,008117181	0,008288482	0,00838414	0,00798305	0,00788118



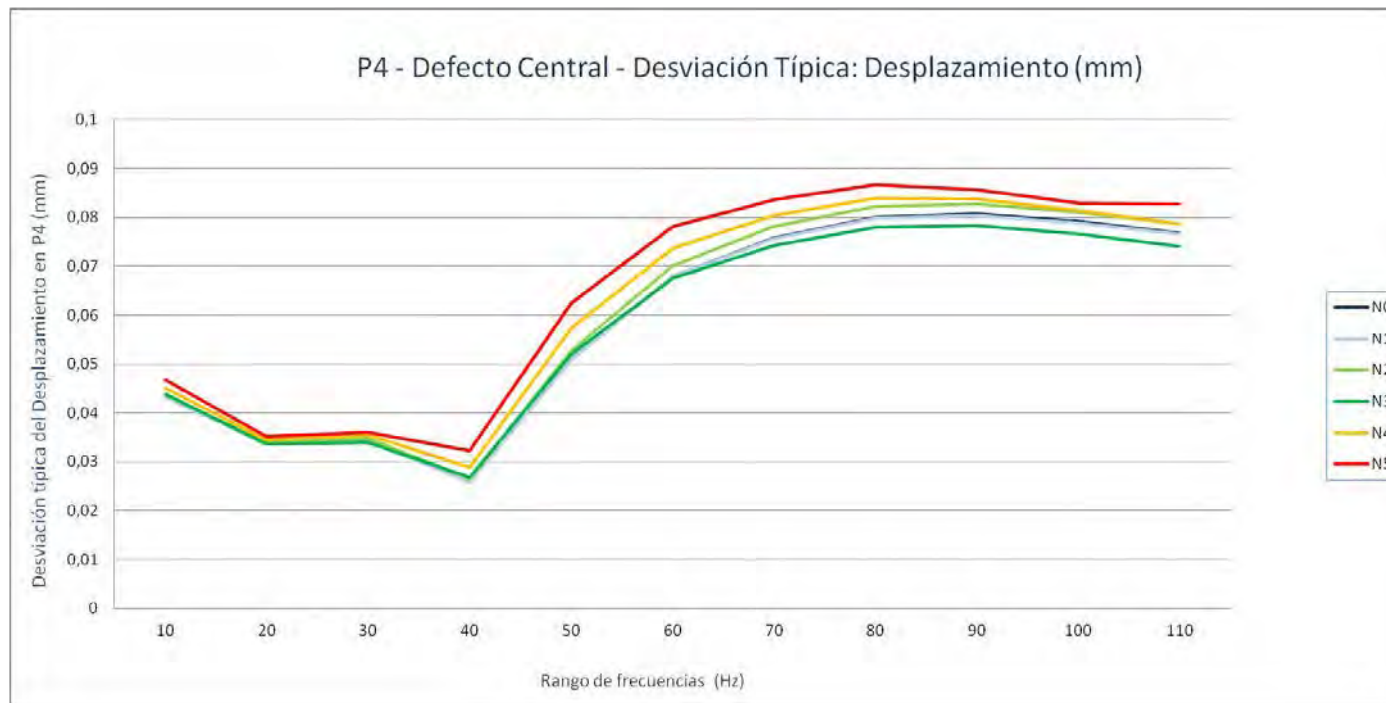
P4. Grieta central - Desplazamiento (mm): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00188898	0,00113626	0,00117626	0,00067594	0,00260095	0,00461213	0,0057423	0,00640031	0,00651276	0,00627505	0,00590898
N1	0,0018691	0,0011263	0,0011696	0,00067265	0,00260946	0,0046091	0,00572189	0,00636893	0,0064731	0,00622827	0,00586277
N2	0,00191607	0,00115774	0,00121839	0,00070024	0,00279036	0,0049239	0,00609636	0,00677007	0,00685544	0,00658117	0,00618155
N3	0,00191789	0,00112901	0,00115026	0,00071863	0,00270584	0,00456132	0,00551013	0,00608894	0,00613368	0,00586658	0,00549464
N4	0,00202674	0,00119471	0,00125992	0,00083317	0,00328585	0,00543969	0,00645869	0,00705534	0,00701335	0,00663351	0,00617567
N5	0,00218329	0,00123701	0,00129872	0,00104154	0,00389379	0,00610445	0,00699583	0,00752167	0,00735111	0,00687721	0,00686069



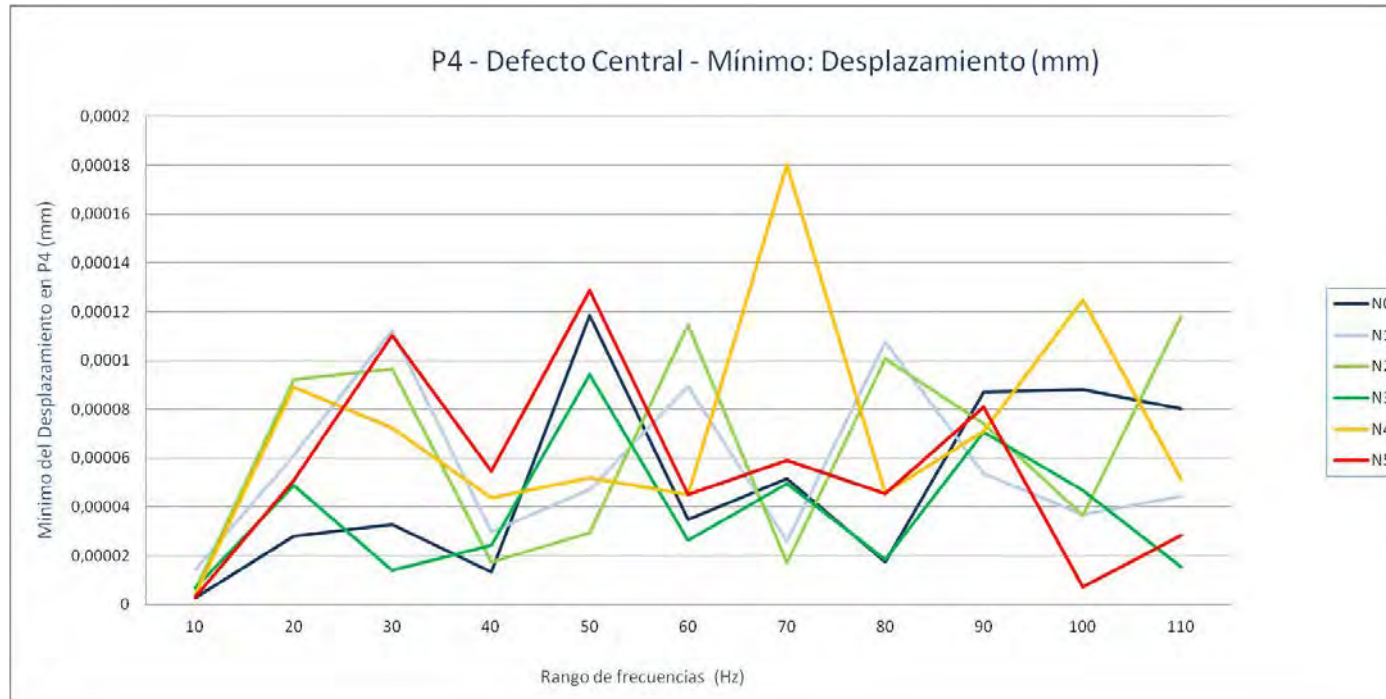
P4. Grieta central - Desplazamiento (mm): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,043462429	0,033708406	0,034296695	0,025998848	0,050999489	0,067912643	0,075777956	0,080001923	0,080701663	0,079215234	0,076869878
N1	0,043233062	0,033560324	0,034199355	0,025935557	0,051082829	0,067890376	0,075643172	0,079805584	0,080455595	0,078919412	0,076568741
N2	0,043772892	0,034025577	0,034905403	0,026462054	0,052823811	0,070170517	0,078079163	0,082280459	0,082797575	0,081124394	0,078622863
N3	0,043793691	0,033600738	0,03391552	0,026807361	0,05201765	0,067537531	0,074230222	0,078031633	0,078317824	0,076593577	0,074125869
N4	0,045019315	0,034564545	0,035495328	0,028864764	0,057322373	0,073754236	0,080365958	0,083996079	0,083745759	0,081446391	0,078585403
N5	0,046725738	0,035171178	0,036037697	0,032272832	0,062400239	0,07813099	0,083641066	0,086727555	0,0857386	0,082928917	0,082829307



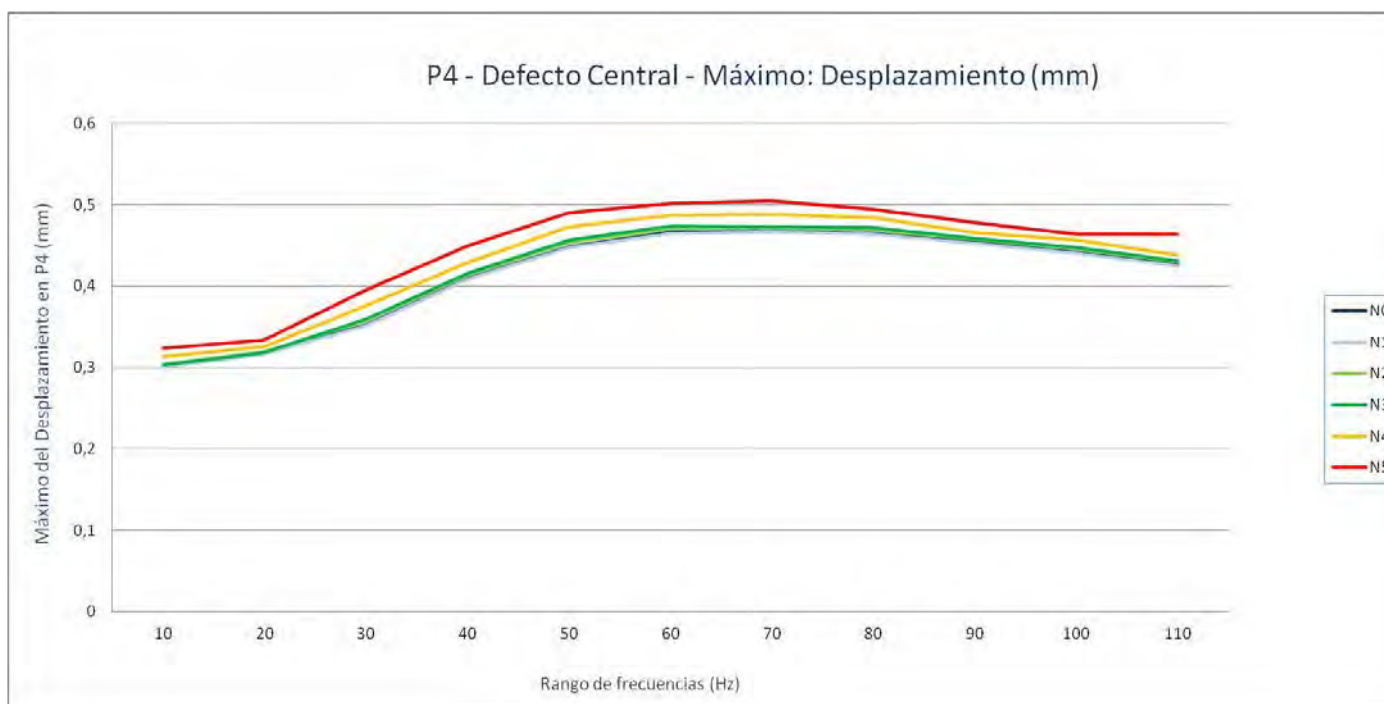
P4. Grieta central - Desplazamiento (mm): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	2,6524E-06	2,8025E-05	3,2707E-05	1,3407E-05	0,00011834	3,4969E-05	5,1541E-05	1,7516E-05	8,6986E-05	8,804E-05	8,0245E-05
N1	1,431E-05	6,1088E-05	0,0001122	2,9873E-05	4,7304E-05	8,9386E-05	2,5834E-05	0,00010751	5,3603E-05	3,6852E-05	4,4317E-05
N2	6,3226E-06	9,2069E-05	9,6738E-05	1,7409E-05	2,9555E-05	0,00011473	1,715E-05	0,00010074	7,3978E-05	3,6723E-05	0,00011813
N3	6,9877E-06	4,8993E-05	1,405E-05	2,428E-05	9,4066E-05	2,6309E-05	4,9698E-05	1,8506E-05	7,0753E-05	4,695E-05	1,5343E-05
N4	4,188E-06	8,9199E-05	7,246E-05	4,3679E-05	5,1961E-05	4,5249E-05	0,00018019	4,5779E-05	7,1153E-05	0,000125	5,117E-05
N5	2,9845E-06	5,0915E-05	0,00011029	5,4603E-05	0,00012883	4,5161E-05	5,8988E-05	4,5388E-05	8,0898E-05	7,326E-06	2,841E-05



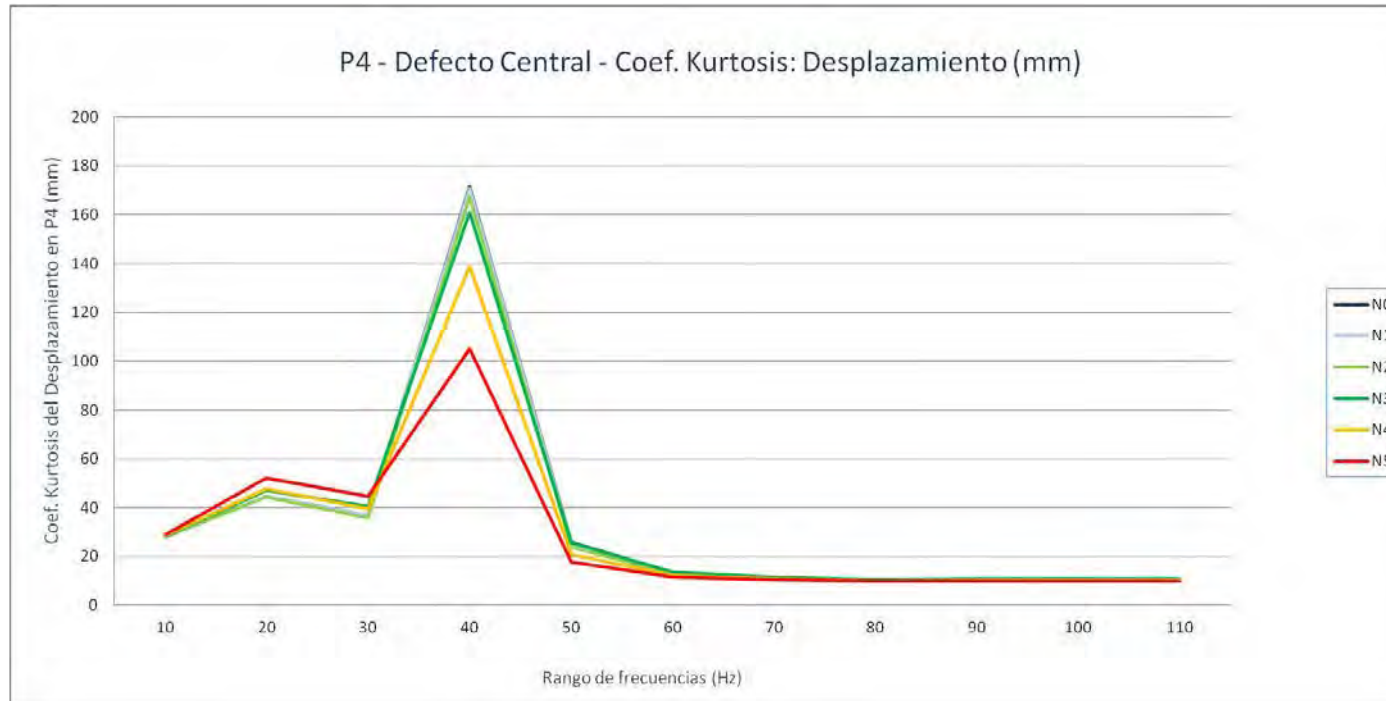
P4. Grieta central - Desplazamiento (mm): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,30145919	0,3187851	0,35256991	0,40970191	0,44837019	0,46644309	0,468173	0,46472871	0,45466691	0,44192359	0,4269537
N1	0,299669	0,31657481	0,35134649	0,4082261	0,44701469	0,46496439	0,46641809	0,46332359	0,45277551	0,44039899	0,42527729
N2	0,3039982	0,32000971	0,35770339	0,41402081	0,45391351	0,4713349	0,47188029	0,4692944	0,45750511	0,445467	0,4297688
N3	0,30266061	0,31809449	0,3597883	0,41582799	0,456581	0,47371471	0,47344151	0,4716835	0,45847899	0,44718429	0,43090481
N4	0,313651	0,32606161	0,37626931	0,4288173	0,47298589	0,48754451	0,48865339	0,48382699	0,4659954	0,45621669	0,4380492
N5	0,3239755	0,33375311	0,39566851	0,44931179	0,4906092	0,50178498	0,50465691	0,4949275	0,4781006	0,46364161	0,46359119



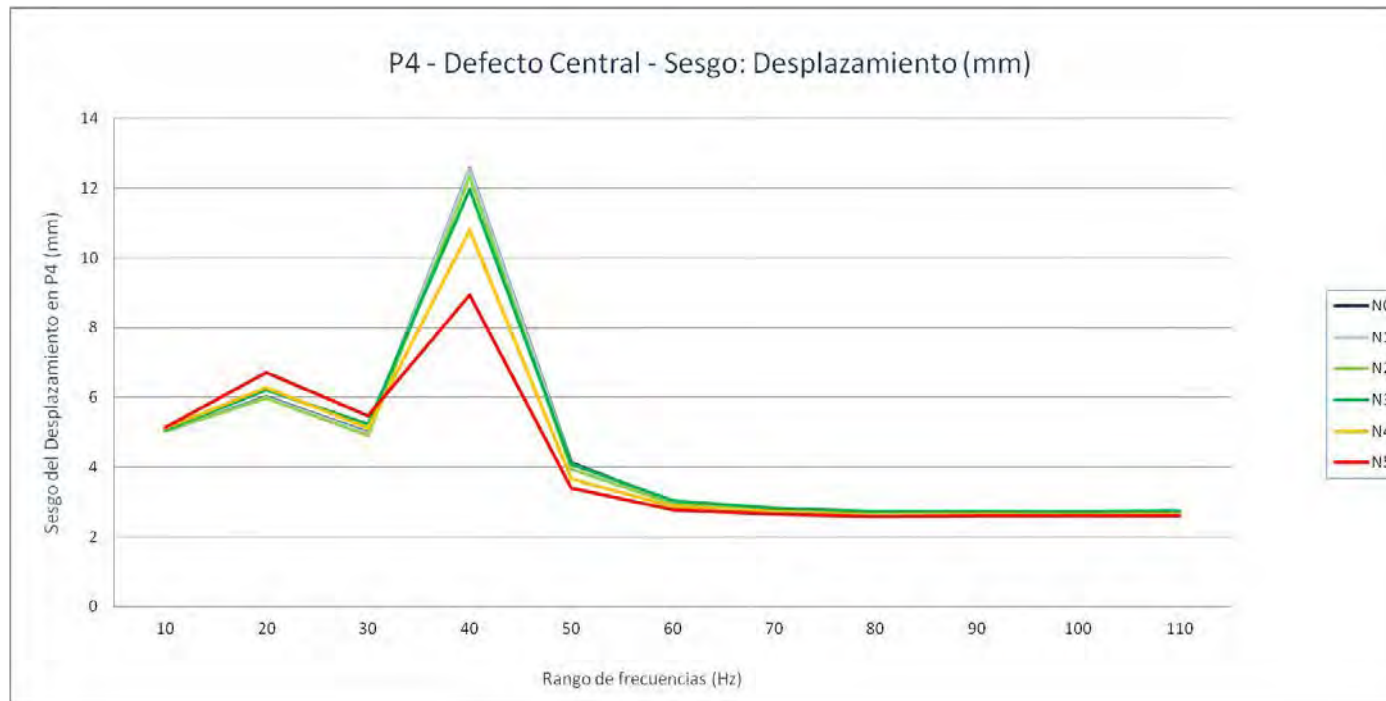
P4. Grieta central - Desplazamiento (mm): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	28,0705815	44,5924124	36,859449	171,724194	25,9956102	13,133403	11,269518	10,3400448	10,2925658	10,329867	10,4181852
N1	28,076249	44,5526446	36,7004039	171,005597	25,5078248	12,9839909	11,1518855	10,2349502	10,1979996	10,2357775	10,3176056
N2	28,1481838	44,2523091	35,846815	167,211506	23,9029926	12,5652277	10,9483468	10,1032764	10,0868131	10,114007	10,1844145
N3	28,3898961	46,9491382	40,6403251	160,836558	25,5482172	13,6200986	11,6814523	10,6838662	10,7431265	10,7797287	10,8987792
N4	28,6990738	47,6263017	39,5215166	138,855605	20,6973599	12,1215719	10,772079	10,0071634	10,1102569	10,1238933	10,1860855
N5	28,8065205	52,1794022	44,8302953	105,060676	17,8732748	11,4843728	10,420632	9,78253074	9,95191703	9,93914624	9,94395694



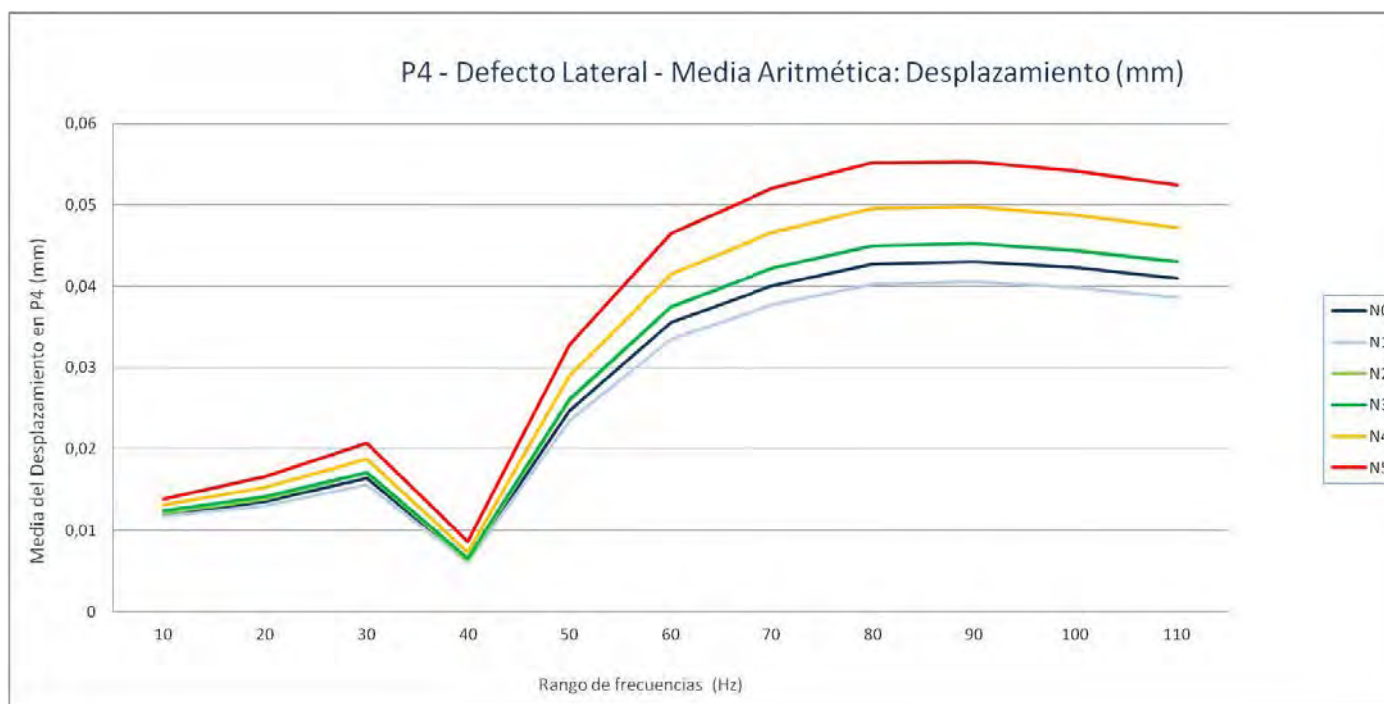
P4. Grieta central - Desplazamiento (mm): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,02946339	6,01185336	4,98534828	12,5755517	4,12679292	2,99187886	2,79788401	2,68574054	2,68552214	2,68696939	2,69747755
N1	5,03103096	6,00941755	4,96836389	12,5344583	4,08332127	2,97413778	2,78327822	2,67257485	2,67340547	2,6746709	2,6842313
N2	5,03949968	5,97849965	4,8928051	12,3309935	3,9503589	2,93180223	2,76044337	2,65646698	2,65876813	2,65906196	2,66790745
N3	5,07769155	6,22394674	5,24615523	11,980628	4,0807434	3,02907872	2,82975819	2,71583423	2,72807159	2,72777597	2,74211942
N4	5,12093107	6,28532115	5,12286952	10,8026056	3,66214116	2,86586439	2,72199157	2,63077539	2,64522504	2,64313314	2,65147202
N5	5,14090181	6,70779152	5,46992018	8,93754274	3,39912211	2,7801543	2,66636938	2,59278499	2,61130155	2,60667109	2,60735467



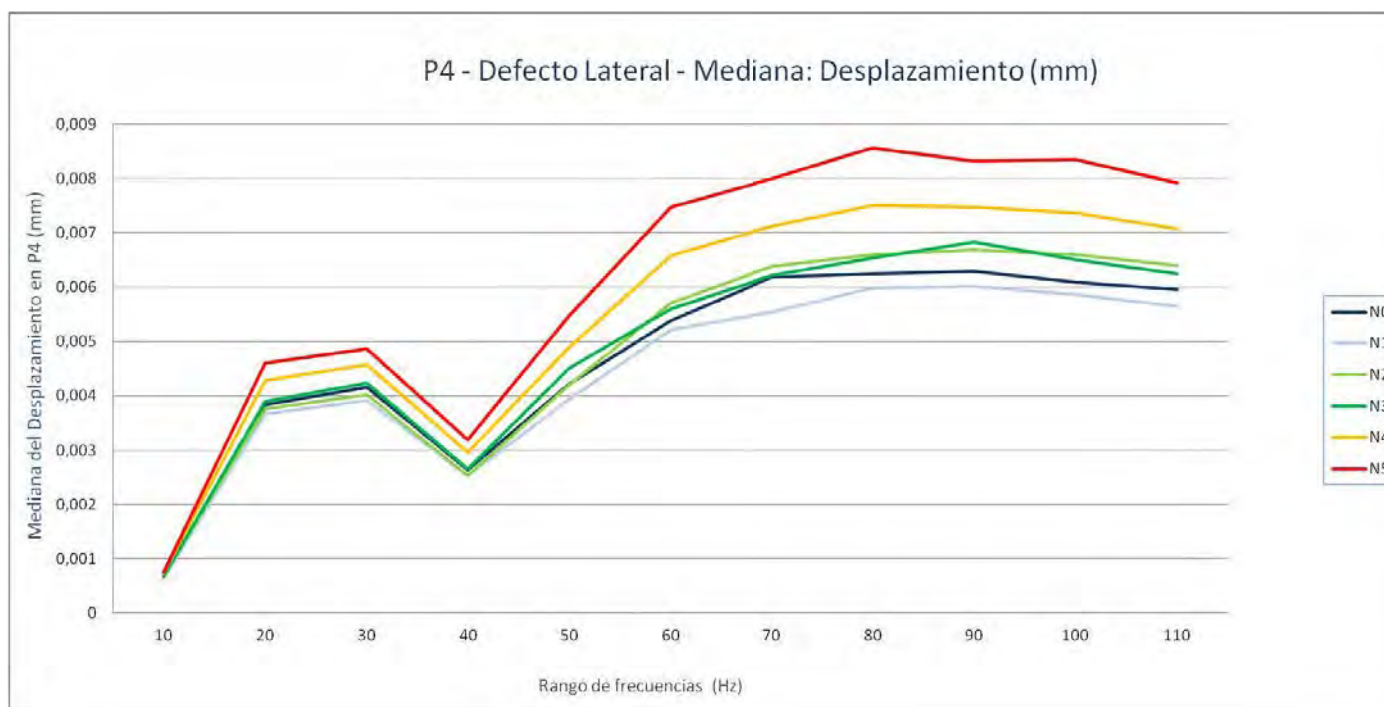
P4. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,01196018	0,01357576	0,01643479	0,00621691	0,02473025	0,03554424	0,04006013	0,04276598	0,04302919	0,04226018	0,04099109
N1	0,01167321	0,01299234	0,01559315	0,00604331	0,02342961	0,03354667	0,0377278	0,04028577	0,04051886	0,03986029	0,03863965
N2	0,01213174	0,01386395	0,01701356	0,00626114	0,02594589	0,03737792	0,04218916	0,04500743	0,04525448	0,04441697	0,04304738
N3	0,01243198	0,01412058	0,01716878	0,0065763	0,02616802	0,03749001	0,04218843	0,04498224	0,0452245	0,04438526	0,04303577
N4	0,01310229	0,01531679	0,01878718	0,00735512	0,02897618	0,04144067	0,04659136	0,04956326	0,04975764	0,04880331	0,04726928
N5	0,0138276	0,01657079	0,02069803	0,0086262	0,03283555	0,04651972	0,05205217	0,05522732	0,05529518	0,05413591	0,05239345



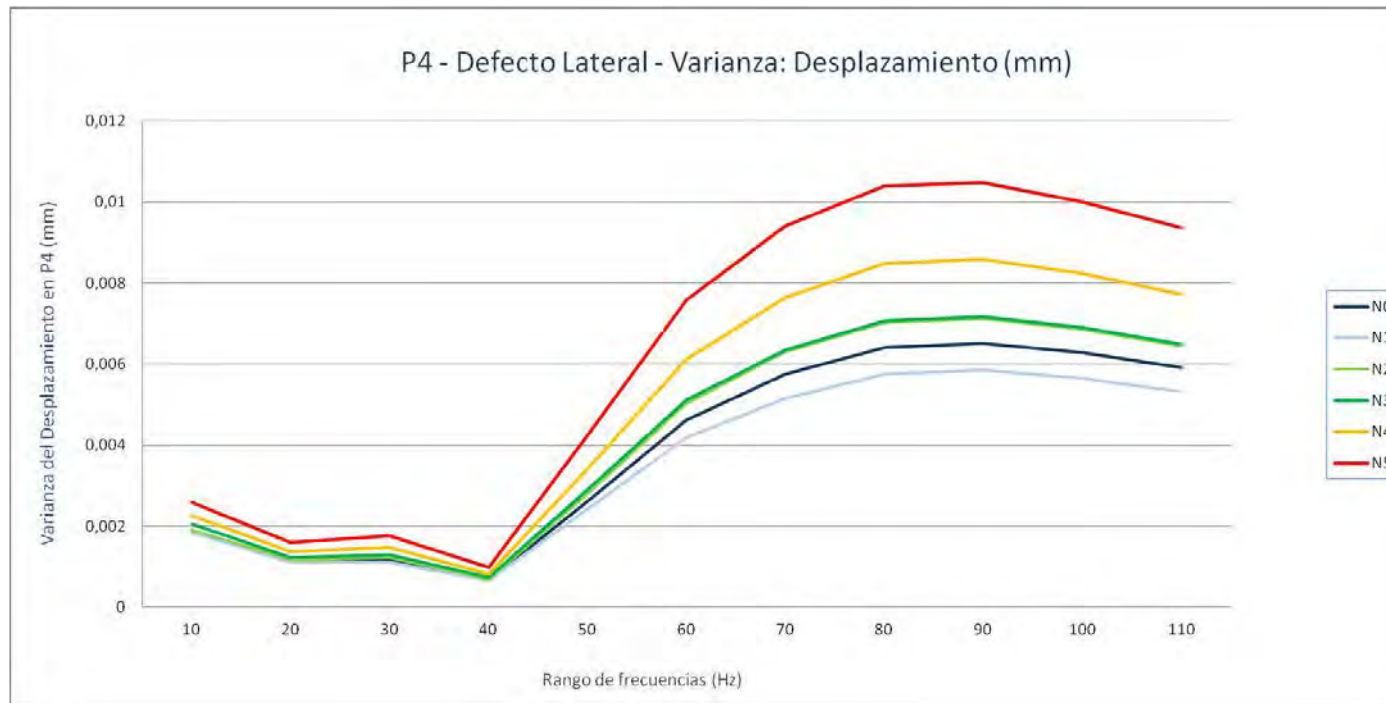
P4. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,000681005	0,003839604	0,00415555	0,002631758	0,004227194	0,005385466	0,006192503	0,006250754	0,006287649	0,006095547	0,005959346
N1	0,000637737	0,003673631	0,00391783	0,002525241	0,003942558	0,005214634	0,005547261	0,005983652	0,006012443	0,005862627	0,005650396
N2	0,000701486	0,003754405	0,004016043	0,002527041	0,004202117	0,005711348	0,00638146	0,006598995	0,00668581	0,006606821	0,006403105
N3	0,000679447	0,003894155	0,004235088	0,002651977	0,004507403	0,005593871	0,006219804	0,006545383	0,006830659	0,006500916	0,006253695
N4	0,000741828	0,004283118	0,004579873	0,002958711	0,004888427	0,006578556	0,007121126	0,007507828	0,007471439	0,007370279	0,007078858
N5	0,000746972	0,00460596	0,004860932	0,003198366	0,005483059	0,007467667	0,007993524	0,0085638	0,008318047	0,008346494	0,007921922



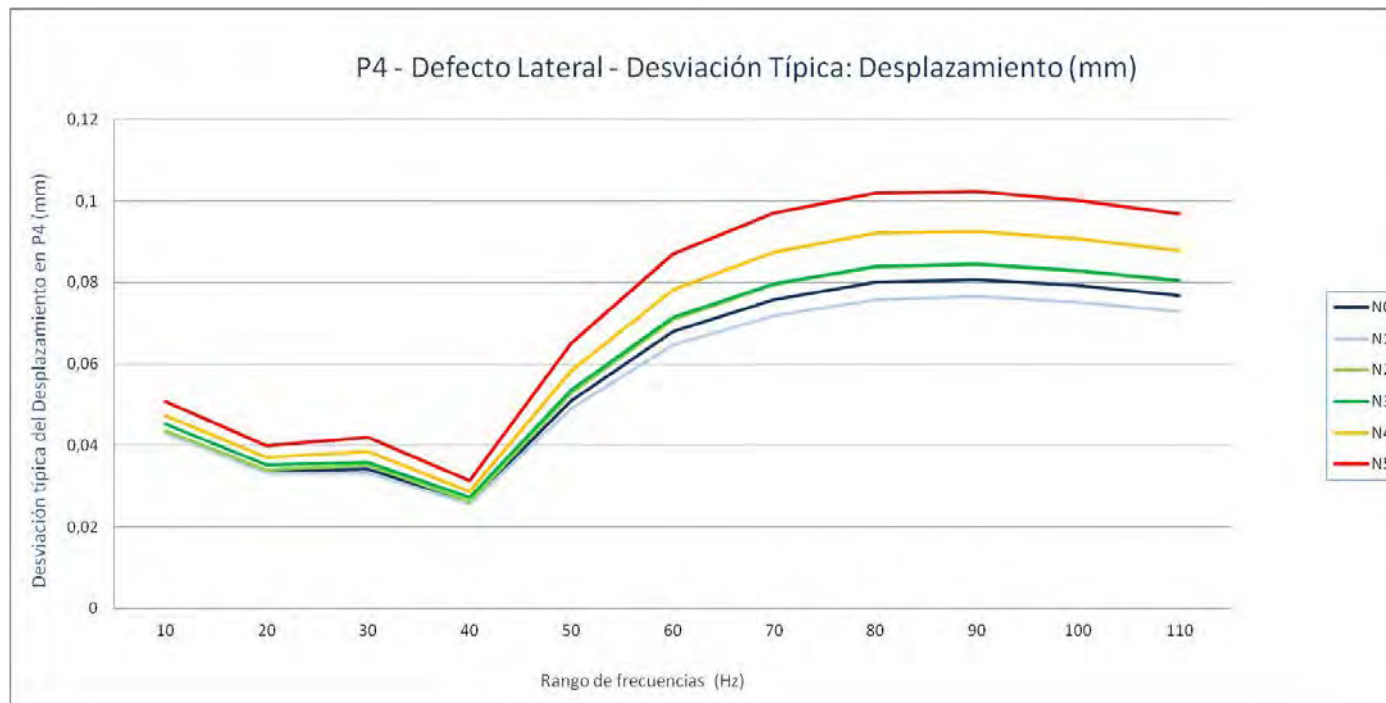
P4. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00188898	0,00113626	0,00117626	0,00067594	0,00260095	0,00461213	0,0057423	0,00640031	0,00651276	0,00627505	0,00590898
N1	0,00185356	0,001098	0,00110415	0,00066134	0,00241569	0,00418142	0,00515682	0,00574939	0,00586259	0,00564563	0,00532345
N2	0,00189999	0,00116259	0,00123916	0,00068724	0,00279485	0,00503478	0,00630021	0,0070224	0,0071344	0,00686054	0,00645141
N3	0,00205693	0,00123973	0,00129049	0,00074192	0,00289078	0,00510793	0,00634057	0,00705541	0,00716646	0,00689499	0,0064865
N4	0,00224897	0,00137727	0,00148059	0,00082433	0,00341016	0,00611666	0,00763139	0,00847371	0,00857611	0,00822874	0,00772756
N5	0,00258191	0,0015961	0,00176149	0,00097688	0,00424051	0,00758399	0,00940422	0,01039301	0,01046627	0,01000908	0,00937266



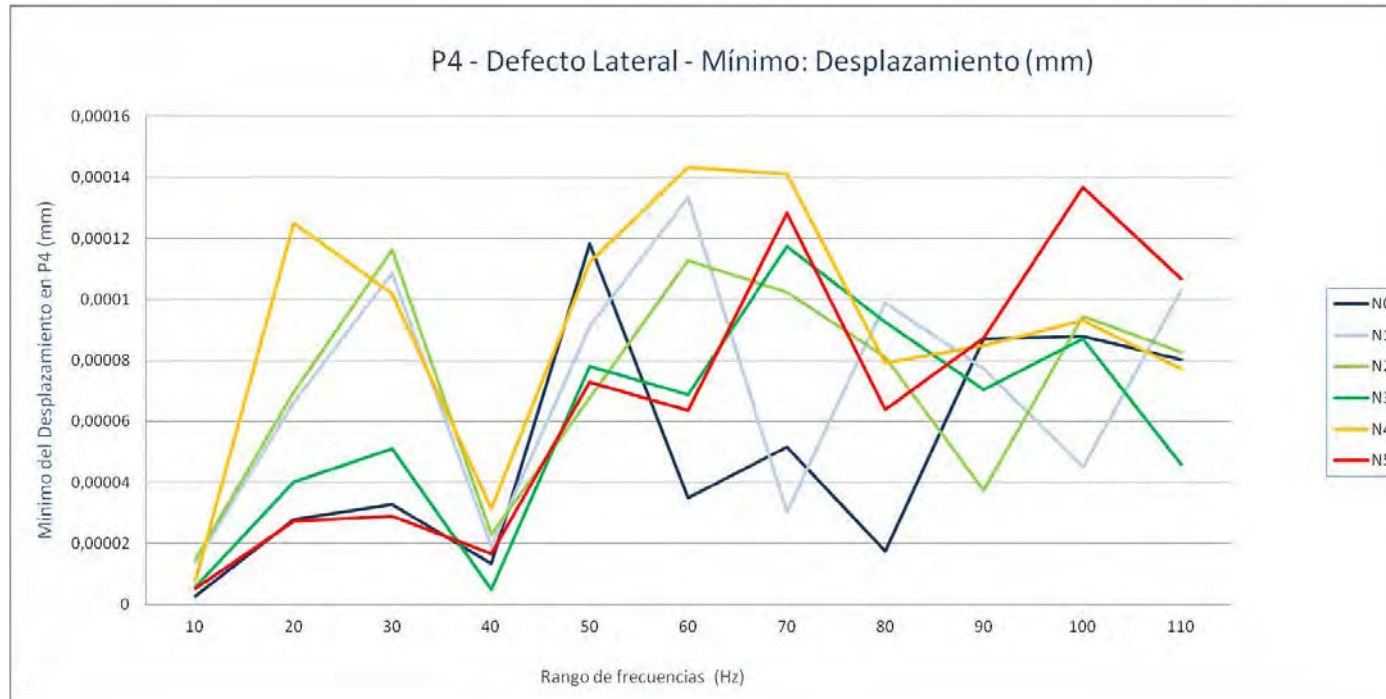
P4. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,043462429	0,033708406	0,034296695	0,025998848	0,050999489	0,067912643	0,075777956	0,080001923	0,080701663	0,079215234	0,076869878
N1	0,04305294	0,033136146	0,033228773	0,025716577	0,049149709	0,064663908	0,071810995	0,075824716	0,076567534	0,075137438	0,072961999
N2	0,043588866	0,034096779	0,035201667	0,026215228	0,052866296	0,070956185	0,07937387	0,083799737	0,084465393	0,082828401	0,080320665
N3	0,045353435	0,035209816	0,035923411	0,02723823	0,053765967	0,071469773	0,079627679	0,083996479	0,08465495	0,083036084	0,080538799
N4	0,047423272	0,037111567	0,038478482	0,028711232	0,058396605	0,078209087	0,087357829	0,092052751	0,092607273	0,090712426	0,087906558
N5	0,050812474	0,039951278	0,041970146	0,031255076	0,065119234	0,087086121	0,096975345	0,101946132	0,102304778	0,10004541	0,096812479



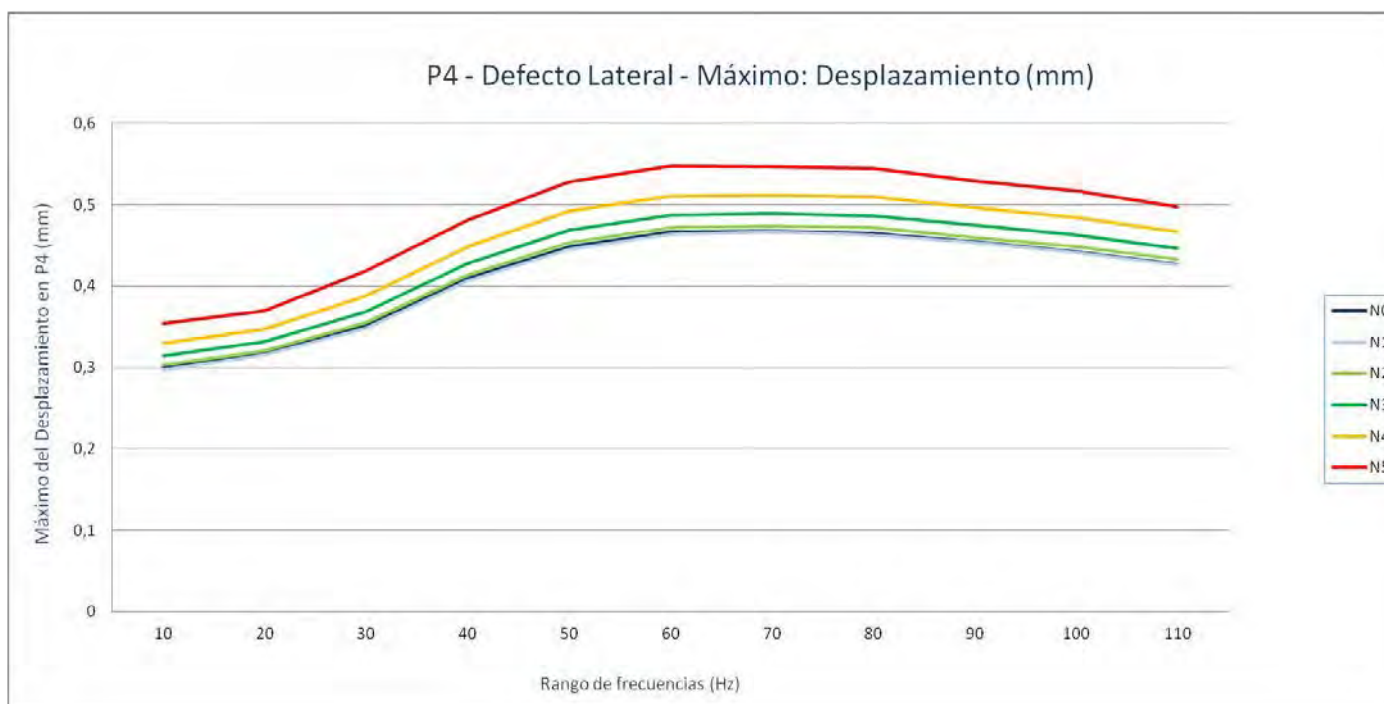
P4. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	2,6524E-06	2,8025E-05	3,2707E-05	1,3407E-05	0,00011834	3,4969E-05	5,1541E-05	1,7516E-05	8,6986E-05	8,804E-05	8,0245E-05
N1	1,3719E-05	6,6241E-05	0,00010867	1,9134E-05	9,116E-05	0,00013348	3,0303E-05	9,8943E-05	7,7382E-05	4,5202E-05	0,00010289
N2	1,4915E-05	6,9549E-05	0,00011639	2,3106E-05	6,7804E-05	0,00011265	0,00010243	8,1039E-05	3,7554E-05	9,4497E-05	8,2648E-05
N3	5,8019E-06	4,0207E-05	5,1103E-05	5,0235E-06	7,8187E-05	6,8697E-05	0,00011728	9,2491E-05	7,033E-05	8,715E-05	4,5785E-05
N4	7,8679E-06	0,00012502	0,00010173	3,1437E-05	0,00011232	0,00014328	0,00014124	7,9099E-05	8,4903E-05	9,3045E-05	7,7334E-05
N5	5,1613E-06	2,7441E-05	2,907E-05	1,6751E-05	7,2848E-05	6,3517E-05	0,00012822	6,3823E-05	8,7516E-05	0,00013684	0,00010686



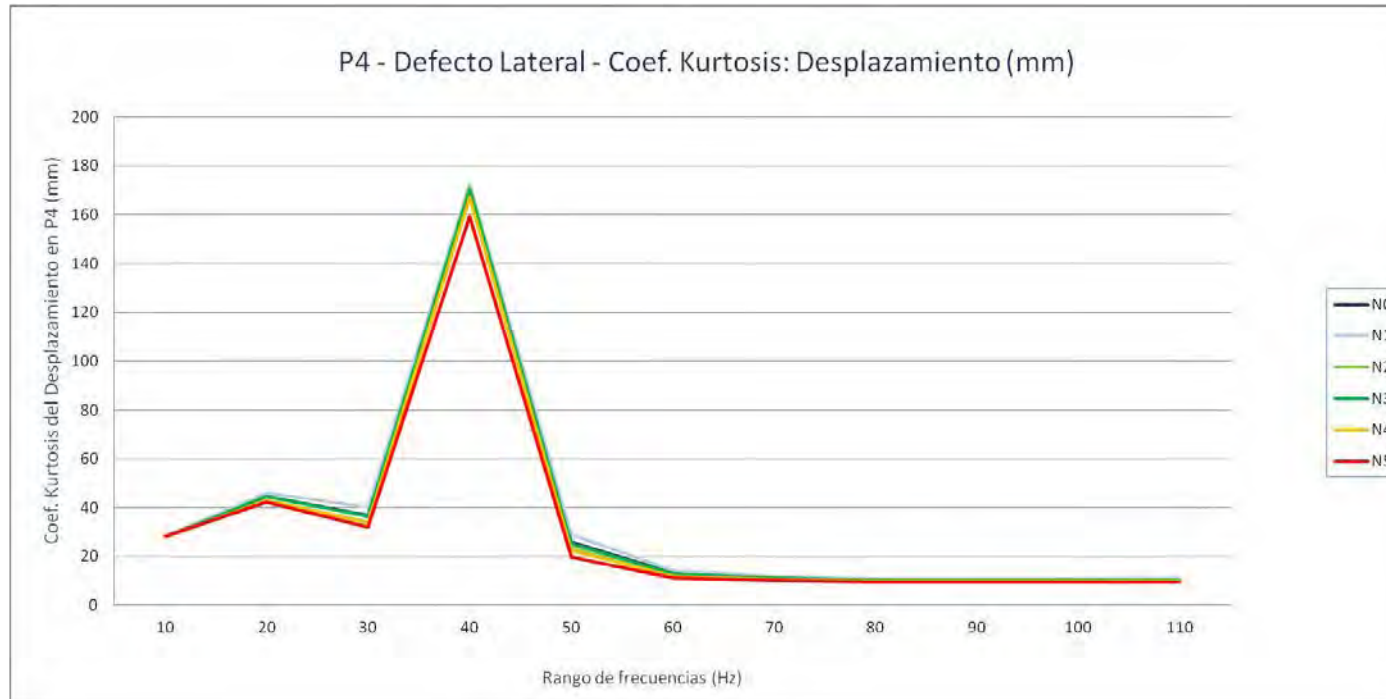
P4. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,30145919	0,3187851	0,35256991	0,40970191	0,44837019	0,46644309	0,468173	0,46472871	0,45466691	0,44192359	0,4269537
N1	0,2974875	0,31554541	0,3483308	0,40666389	0,4450171	0,46400991	0,46646661	0,46329549	0,4535259	0,4411566	0,426296
N2	0,30283979	0,3200905	0,3550185	0,41336891	0,4532831	0,47221729	0,47382879	0,4717927	0,46021649	0,44879821	0,4330824
N3	0,31461379	0,3322385	0,36876559	0,42817351	0,46893179	0,48786309	0,4895649	0,48647061	0,47550949	0,4627074	0,44690311
N4	0,32989371	0,34693149	0,38793731	0,4484871	0,4921388	0,51112628	0,51176322	0,5095731	0,49651149	0,48408681	0,46702239
N5	0,35385579	0,3699826	0,41885909	0,48130891	0,52877671	0,54768372	0,54685891	0,54502732	0,52951682	0,516666	0,49785581



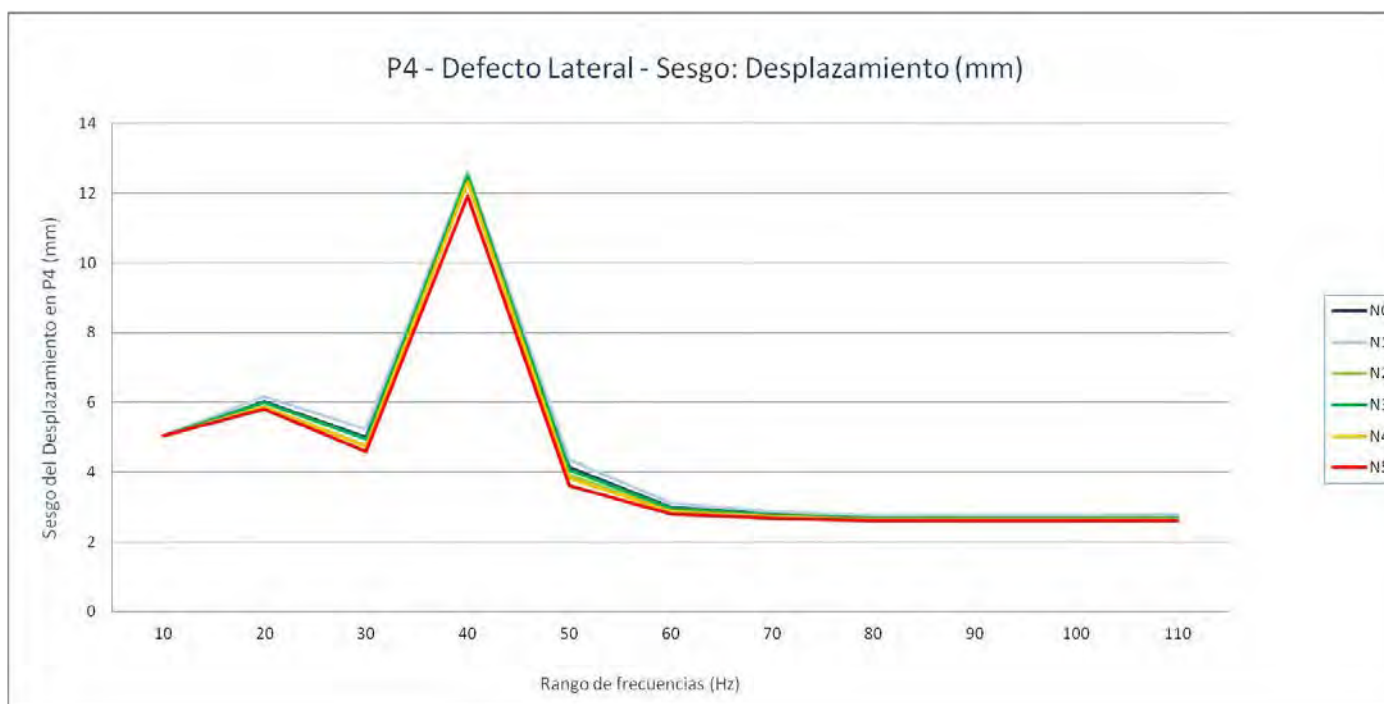
P4. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	28,0705815	44,5924124	36,859449	171,724194	25,9956102	13,133403	11,269518	10,3400448	10,2925658	10,329867	10,4181852
N1	28,1251197	46,1366135	40,1549091	172,560584	28,8328865	14,3483203	12,0523424	10,9369051	10,9026132	10,975926	11,0964446
N2	27,9879088	43,1139165	34,0612231	171,435033	23,6626827	12,2249594	10,6653149	9,85887288	9,83500051	9,85936809	9,91301928
N3	28,0877737	44,4992522	36,5554663	170,374273	25,2416607	12,9250477	11,1360071	10,2315207	10,199818	10,2363714	10,3209622
N4	28,0661056	43,0246503	33,6674441	167,131691	22,3990267	11,9694918	10,578247	9,83062698	9,81585157	9,83850459	9,88705819
N5	28,1902889	42,4247298	32,0230999	159,354381	19,8991675	11,3125944	10,2495923	9,60777433	9,6058503	9,62204222	9,65606273



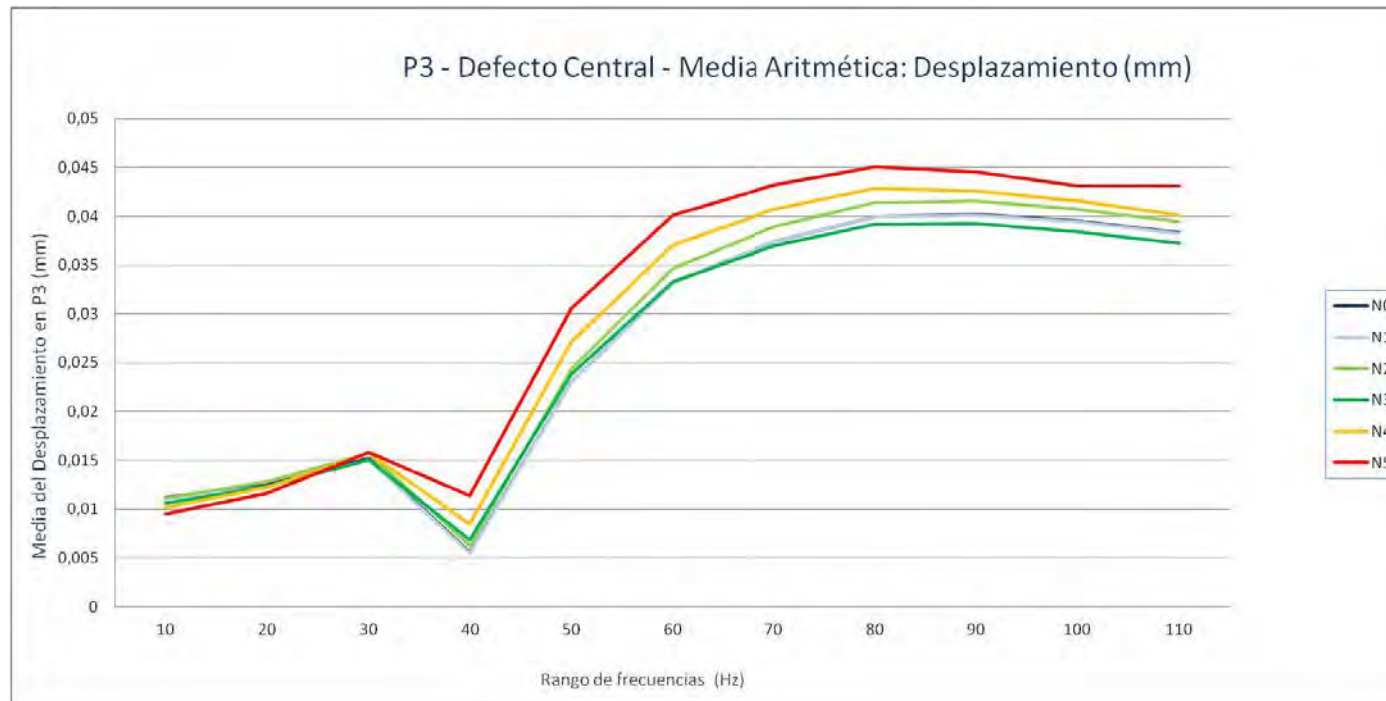
P4. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,02946339	6,01185336	4,98534828	12,5755517	4,12679292	2,99187886	2,79788401	2,68574054	2,68552214	2,68696939	2,69747755
N1	5,04036191	6,15466142	5,24304712	12,6097384	4,35516305	3,1091375	2,87777064	2,75086916	2,75448379	2,75880278	2,77210124
N2	5,01703291	5,87617021	4,75855763	12,5474717	3,92751209	2,89684449	2,7314383	2,63013477	2,63182216	2,63147457	2,63795354
N3	5,03225843	6,00389806	4,95629558	12,5032981	4,06232505	2,96871838	2,7817839	2,67212017	2,67353129	2,67468283	2,68480564
N4	5,02669852	5,86773799	4,72210641	12,3302382	3,82382746	2,87185044	2,72172655	2,62636416	2,6282271	2,62849145	2,63463545
N5	5,04234726	5,81251972	4,58141004	11,919929	3,60733894	2,80037756	2,68252926	2,59769867	2,59995364	2,59992253	2,60469395



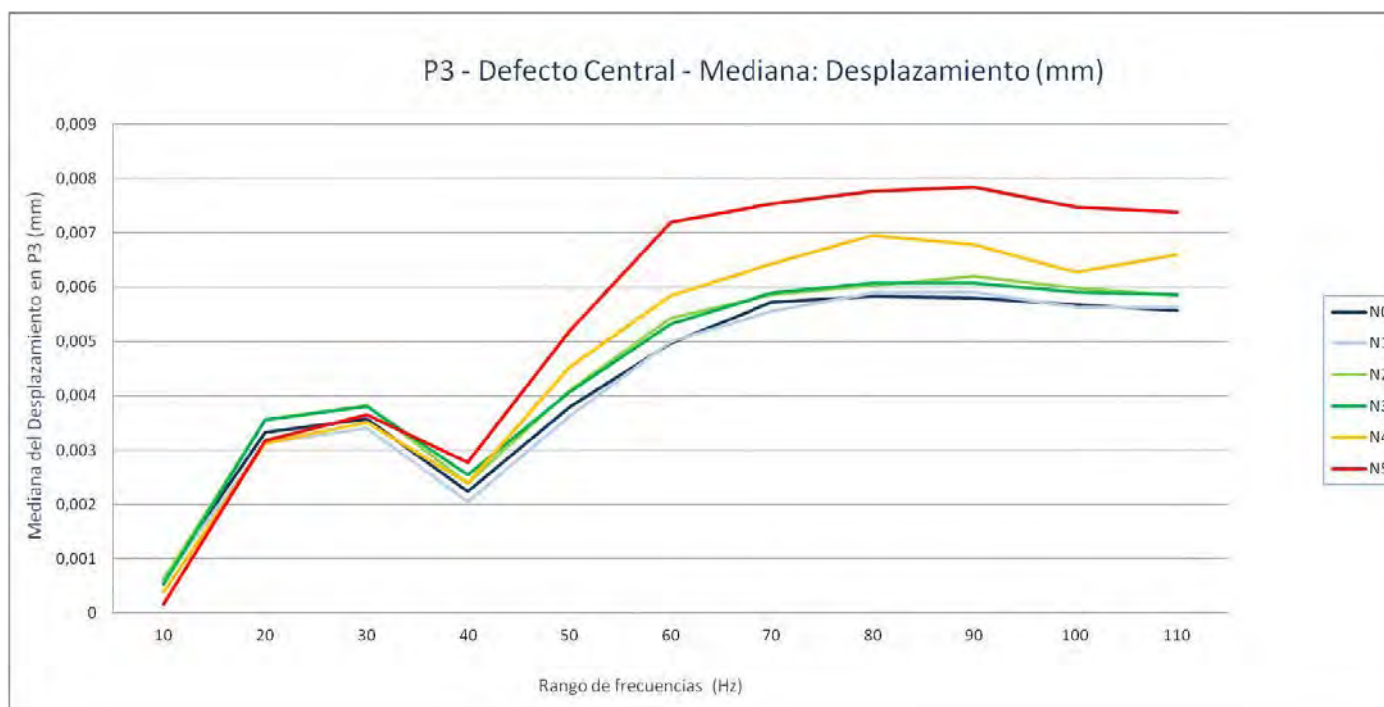
P3. Grieta central - Desplazamiento (mm): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,01116345	0,01247526	0,01519254	0,00558411	0,02304072	0,03318882	0,03743036	0,03997246	0,04022138	0,03950669	0,03832258
N1	0,0110648	0,01228457	0,01503976	0,00552808	0,02309294	0,0332097	0,03742002	0,03993731	0,04014606	0,03942759	0,03820454
N2	0,01115513	0,012812	0,01571316	0,00621993	0,02429905	0,03465234	0,03888626	0,04138318	0,04154768	0,04073452	0,03947527
N3	0,01063376	0,01232694	0,01502898	0,00685646	0,02386286	0,03325709	0,03696939	0,03918412	0,03926603	0,0383708	0,03720804
N4	0,01016133	0,012241	0,0157054	0,0084335	0,02715467	0,03702383	0,04071813	0,04281456	0,04259308	0,04153276	0,04012364
N5	0,00952007	0,01161721	0,01580399	0,01136277	0,03053683	0,04015542	0,04322332	0,04506367	0,04452267	0,0431437	0,04308307



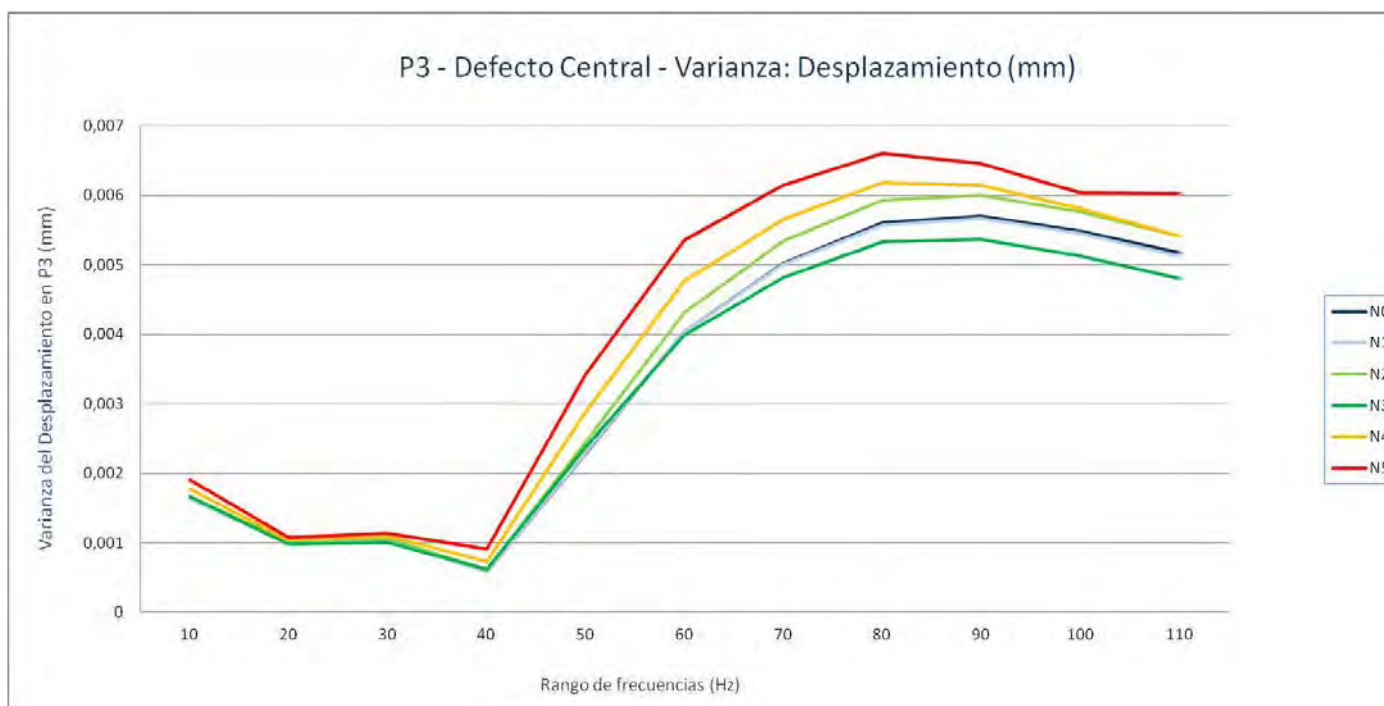
P3. Grieta central - Desplazamiento (mm): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,000628737	0,00332998	0,003572048	0,002238453	0,003788405	0,004974034	0,005729135	0,005832161	0,005803316	0,005673713	0,005571653
N1	0,000610085	0,003129798	0,003400147	0,002057554	0,003623067	0,005005352	0,005556372	0,005894612	0,00591379	0,005627542	0,005636851
N2	0,000607727	0,00356092	0,003819664	0,002399905	0,004091274	0,005426543	0,005857507	0,006037488	0,006194016	0,005989524	0,005851319
N3	0,000539915	0,003561971	0,003803552	0,002545821	0,004067044	0,005321558	0,005899738	0,006080171	0,006074694	0,005906583	0,005855625
N4	0,000377491	0,003129305	0,003509663	0,002392641	0,004528742	0,005852709	0,006423483	0,006960174	0,006783516	0,006283559	0,006594456
N5	0,000174076	0,003176128	0,003657057	0,002780354	0,005194437	0,007203424	0,007541353	0,007763385	0,00783585	0,007476603	0,007381494



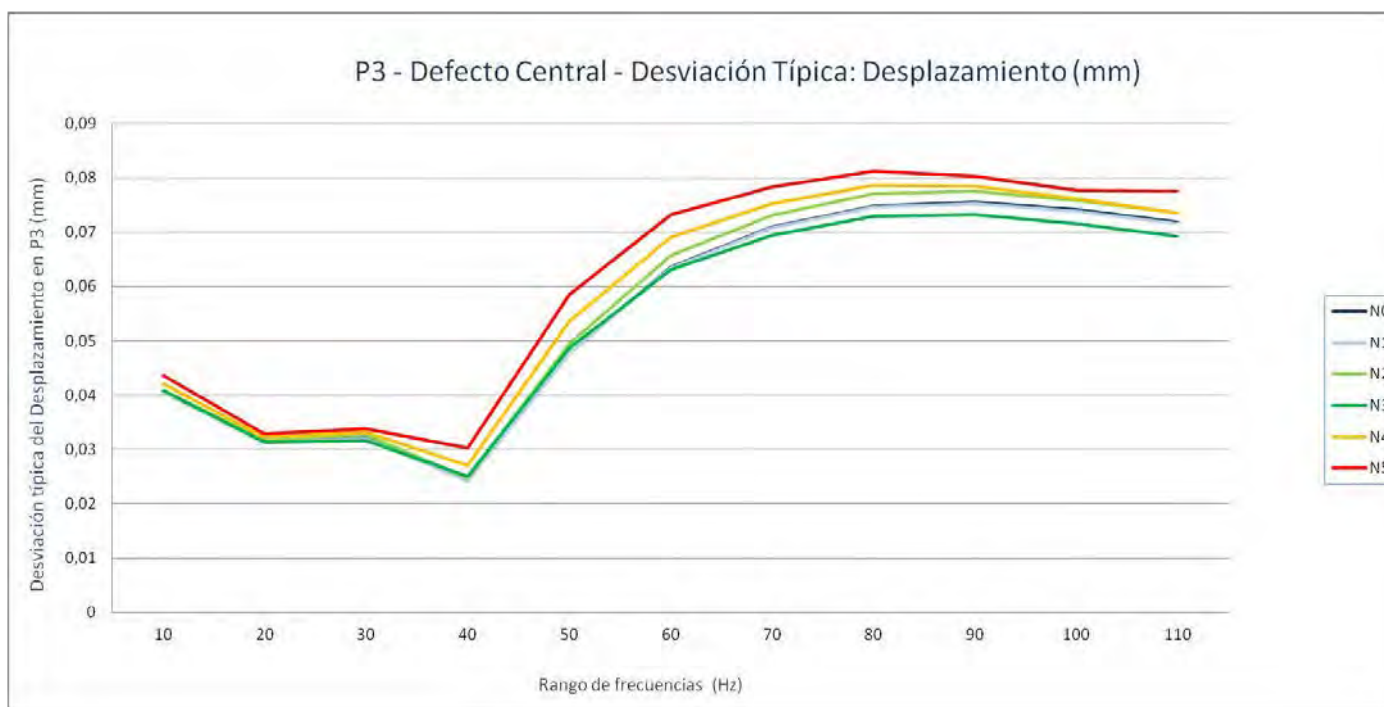
P3. Grieta central - Desplazamiento (mm): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00164592	0,00099256	0,00102912	0,00058968	0,00227562	0,00403665	0,00502602	0,0056026	0,00570053	0,00549135	0,0051705
N1	0,00162773	0,00098335	0,00102285	0,0005866	0,00228249	0,00403334	0,00500769	0,00557462	0,00566554	0,00544987	0,00512983
N2	0,00167	0,00101185	0,00106688	0,00061123	0,00244401	0,0043147	0,00534275	0,00593398	0,00600803	0,00576651	0,00541566
N3	0,00167064	0,00098585	0,00100579	0,000627	0,00236628	0,00398942	0,00481919	0,00532614	0,00536472	0,00512996	0,00480426
N4	0,00176776	0,00104453	0,00110345	0,00072851	0,00287871	0,00476718	0,00566074	0,00618441	0,0061472	0,00581306	0,00541112
N5	0,00190798	0,00108337	0,00113937	0,00091308	0,00341756	0,00535896	0,00614191	0,00660446	0,0064541	0,00603698	0,00602174



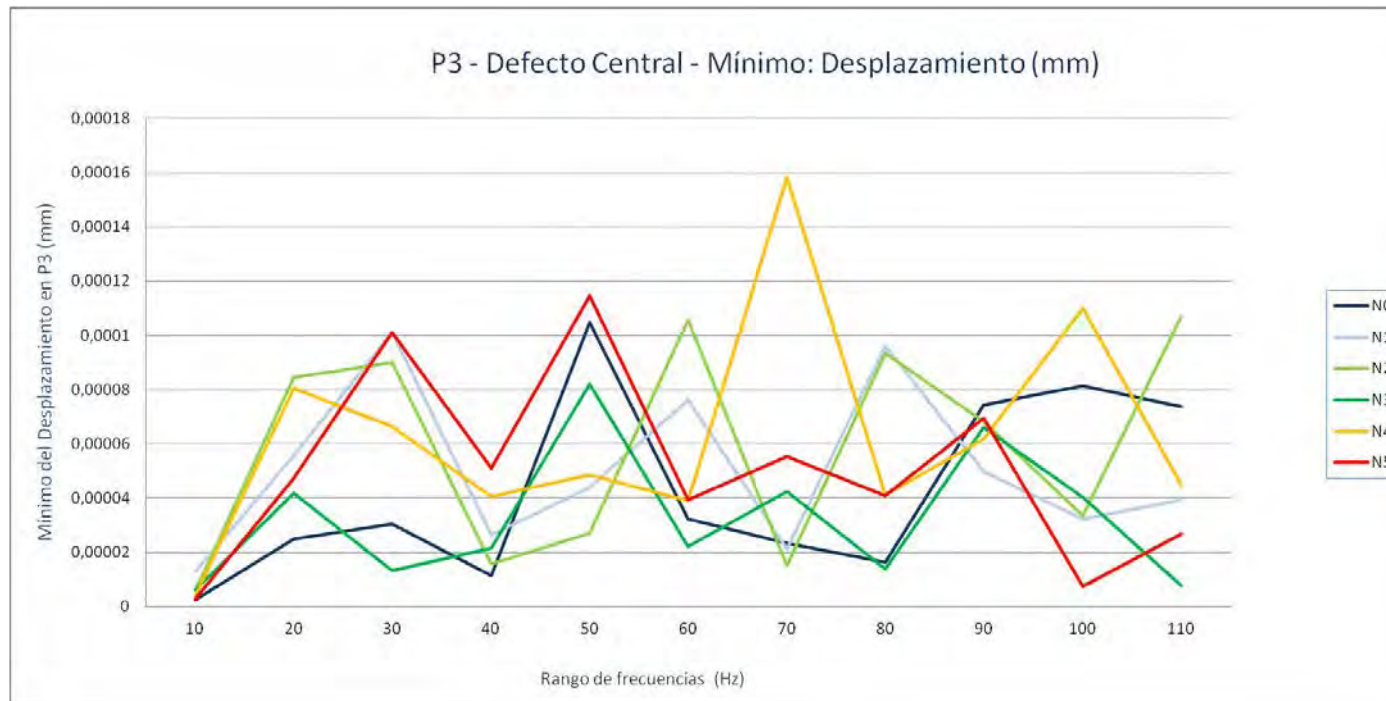
P3. Grieta central - Desplazamiento (mm): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,040569945	0,031504855	0,032079974	0,024283384	0,047703458	0,063534628	0,070894446	0,074850511	0,075501827	0,074103651	0,071906212
N1	0,040345126	0,031358387	0,031981999	0,024219918	0,047775435	0,063508578	0,070765027	0,074663393	0,075269777	0,073823251	0,071622858
N2	0,040865666	0,031809534	0,032663128	0,02472315	0,049436922	0,065686374	0,073094129	0,077032333	0,07751148	0,07593751	0,073591176
N3	0,040873518	0,031398279	0,031714143	0,025039873	0,048644393	0,063161866	0,069420402	0,072980427	0,073244262	0,071623762	0,069312771
N4	0,04204468	0,032319223	0,033218206	0,026990922	0,053653641	0,069044733	0,075237871	0,078641039	0,078404097	0,076243447	0,073560339
N5	0,043680448	0,032914589	0,033754597	0,030217135	0,058459919	0,07320494	0,078370332	0,081267856	0,080337415	0,077698012	0,077599865



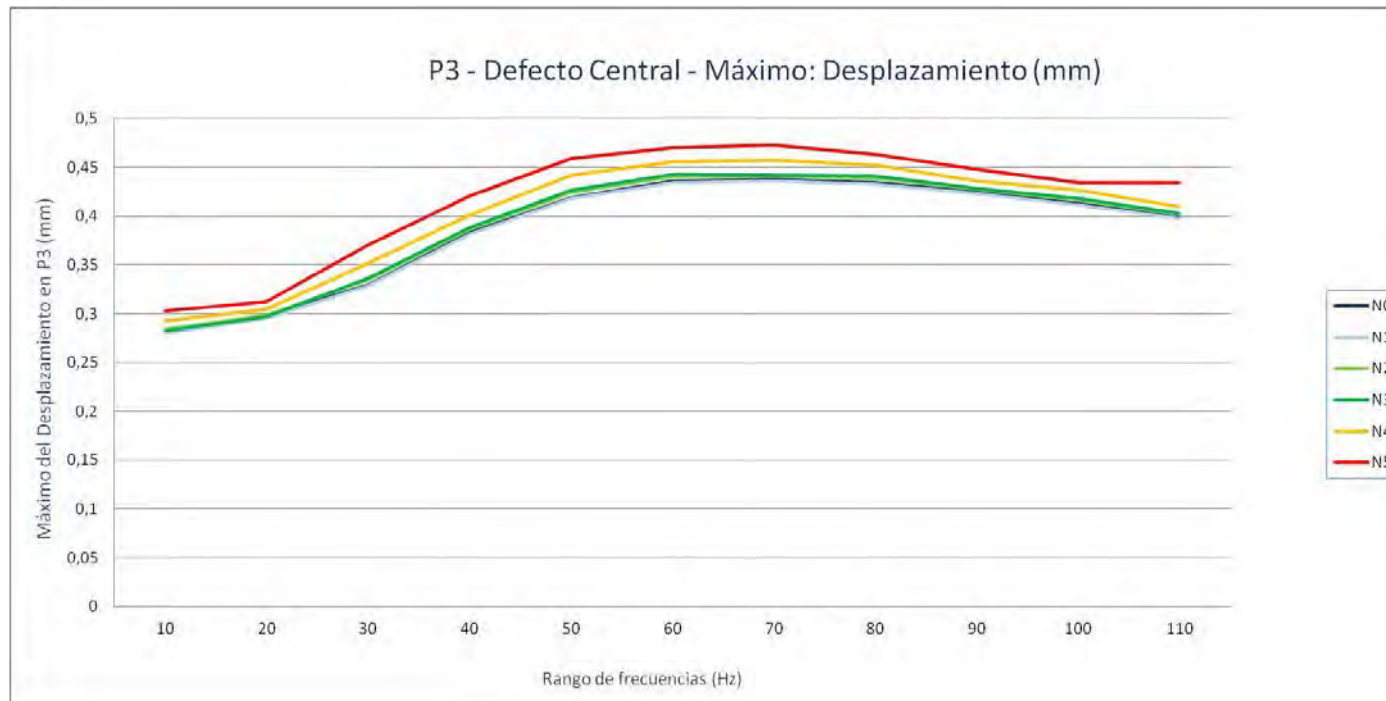
P3. Grieta central - Desplazamiento (mm): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	2,4768E-06	2,4974E-05	3,0415E-05	1,137E-05	0,00010463	3,2331E-05	2,3307E-05	1,6388E-05	7,4462E-05	8,1564E-05	7,3636E-05
N1	1,2897E-05	5,5588E-05	0,00010115	2,6443E-05	4,4056E-05	7,6281E-05	2,1111E-05	9,6287E-05	4,9901E-05	3,2409E-05	3,9461E-05
N2	5,8808E-06	8,4369E-05	8,9901E-05	1,5846E-05	2,7016E-05	0,00010569	1,5047E-05	9,3547E-05	6,8326E-05	3,3482E-05	0,00010682
N3	6,3177E-06	4,1749E-05	1,3137E-05	2,1463E-05	8,2032E-05	2,2057E-05	4,2275E-05	1,3991E-05	6,6047E-05	4,0419E-05	7,6976E-06
N4	3,9075E-06	8,0629E-05	6,6324E-05	4,0615E-05	4,8653E-05	3,9143E-05	0,00015817	4,123E-05	6,1672E-05	0,00011008	4,4937E-05
N5	2,7692E-06	4,7265E-05	0,00010119	5,1135E-05	0,00011446	3,9262E-05	5,5181E-05	4,1E-05	6,9452E-05	7,2893E-06	2,6691E-05



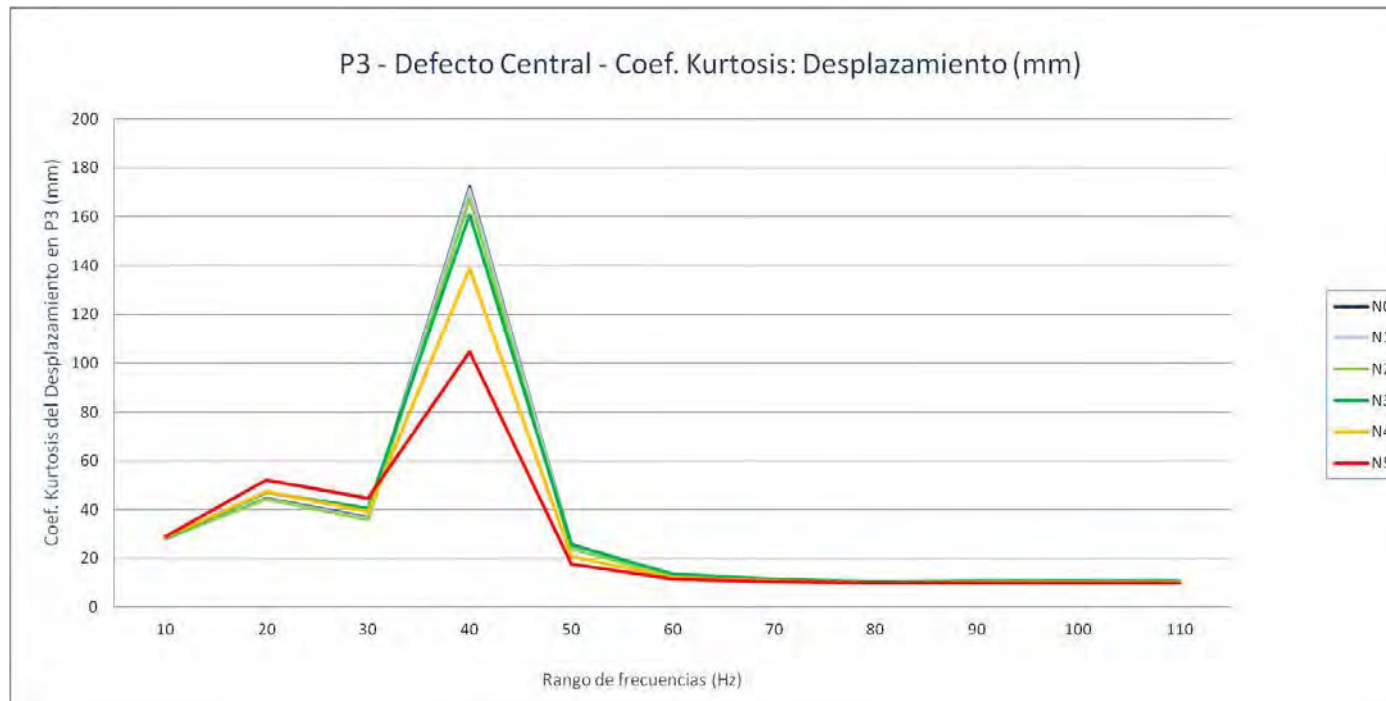
P3. Grieta central - Desplazamiento (mm): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,2813915	0,29755619	0,32932571	0,38276839	0,41898459	0,43585661	0,43735811	0,43426141	0,4246428	0,41285029	0,3987743
N1	0,2796542	0,2954317	0,32809991	0,381318	0,41764829	0,43442279	0,43567729	0,43292481	0,42284709	0,41141689	0,39719799
N2	0,2838158	0,2987588	0,3341983	0,38691029	0,42429581	0,44057751	0,4409723	0,43870041	0,42744321	0,41632971	0,4015598
N3	0,2824688	0,29689941	0,3360109	0,38847819	0,4266485	0,4426899	0,44235611	0,44085711	0,42831069	0,41789621	0,40259781
N4	0,29293439	0,3046115	0,3516672	0,40089491	0,44229749	0,45593151	0,4571442	0,45251459	0,4358283	0,42661431	0,40953019
N5	0,30288801	0,312103	0,37013659	0,42040509	0,45921019	0,46984911	0,47258681	0,46338329	0,44784689	0,4340345	0,43398759



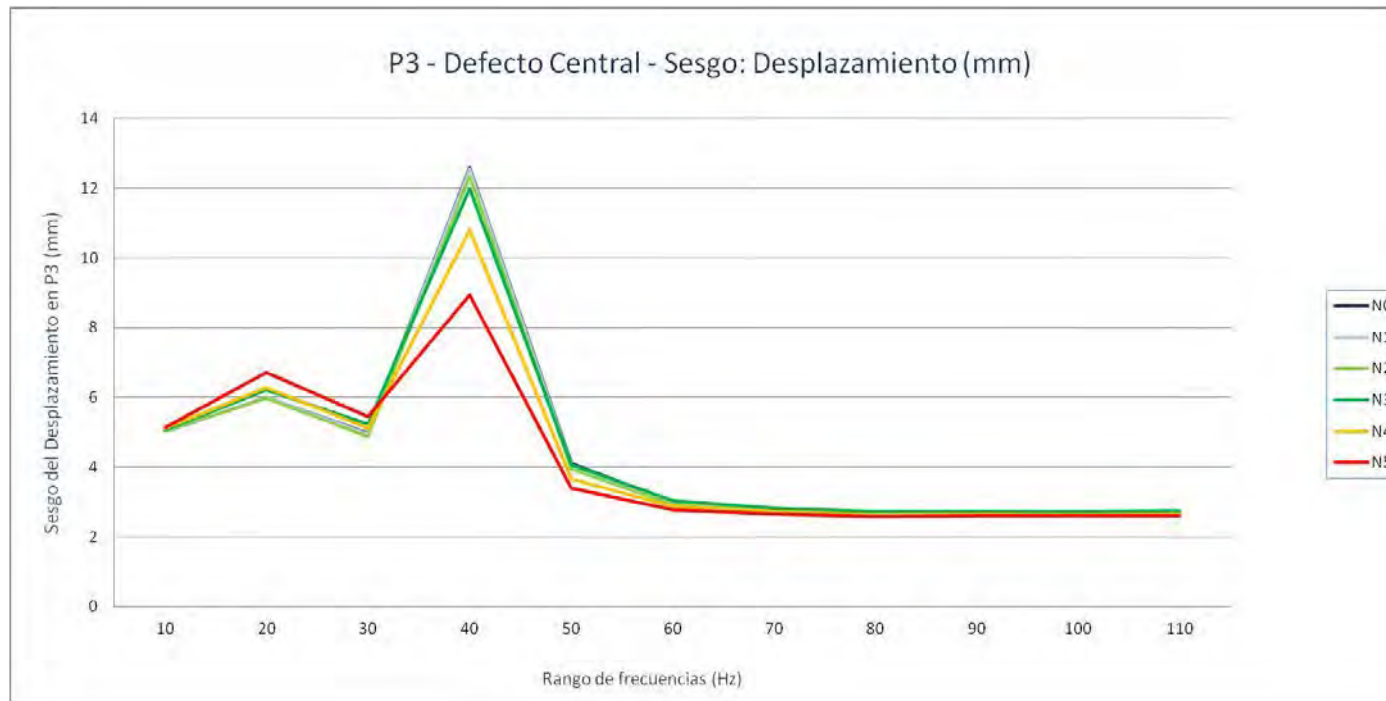
P3. Grieta central - Desplazamiento (mm): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	28,0650518	44,5279545	36,7076061	172,164436	25,9020931	13,1028845	11,2529107	10,3291728	10,2849922	10,3214383	10,4071746
N1	28,0708241	44,4714002	36,5338473	171,361921	25,4088434	12,9516266	11,1339636	10,2233142	10,1895685	10,2268906	10,3053403
N2	28,1423509	44,1792416	35,6746409	167,611914	23,8001309	12,5324597	10,9305444	10,0916208	10,0788028	10,1049622	10,1728817
N3	28,385993	46,9218641	40,5126221	161,162822	25,4792812	13,5982881	11,6702821	10,6779197	10,7417667	10,77736	10,8935132
N4	28,6977863	47,55923	39,3488713	138,80331	20,6291375	12,0991277	10,7596153	10,0001233	10,1060017	10,1185244	10,1784995
N5	28,8064923	52,1411709	44,647507	104,846331	17,8212584	11,4671851	10,4112513	9,77766721	9,95005536	9,93539015	9,93639575



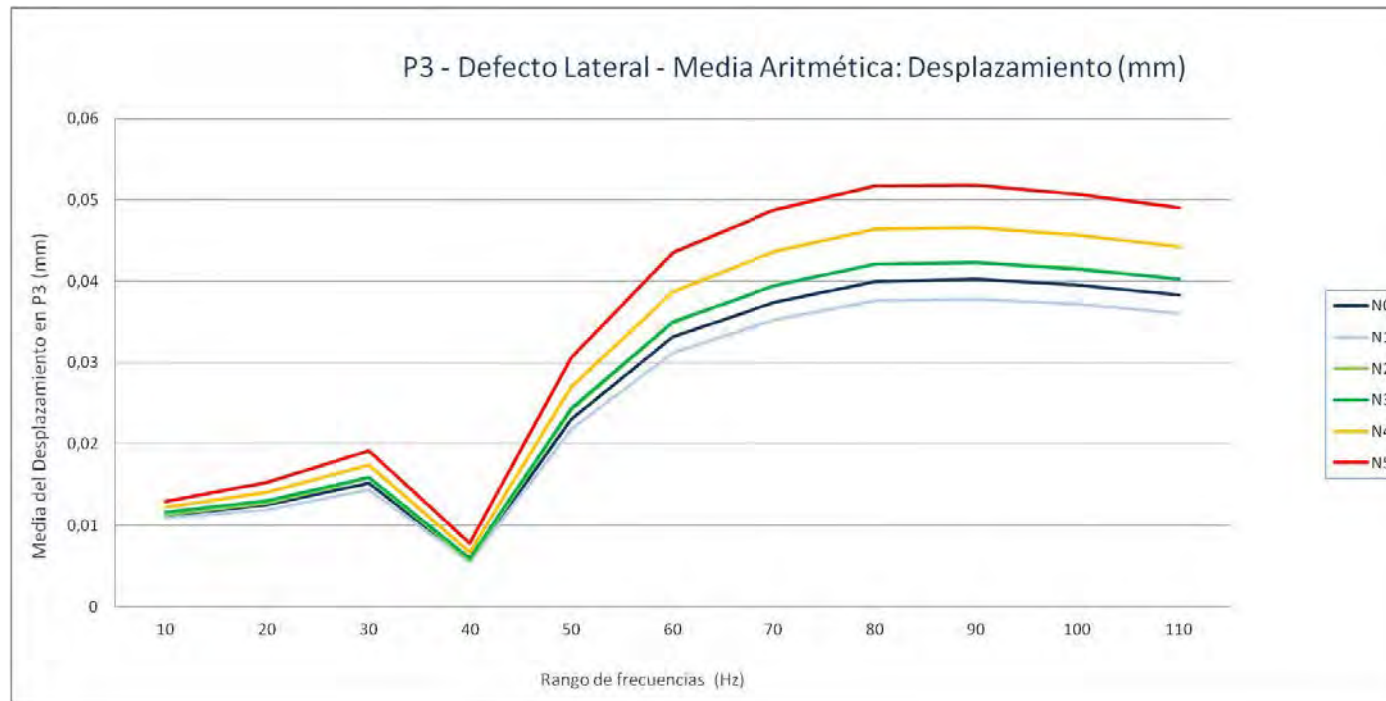
P3. Grieta central - Desplazamiento (mm): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,02870171	6,00704057	4,9736572	12,5976415	4,11841219	2,98840772	2,79580099	2,68430015	2,68446854	2,68572545	2,6959437
N1	5,03026208	6,00283613	4,95528868	12,551662	4,07442385	2,97049708	2,78106906	2,67108024	2,67226497	2,67340323	2,68254272
N2	5,03867573	5,97297676	4,8796149	12,3508662	3,94105579	2,92807076	2,75821063	2,65492246	2,65767298	2,65775476	2,66630478
N3	5,07720049	6,22268651	5,23697352	11,9970816	4,074335	3,02645619	2,82822879	2,71493315	2,72771846	2,72720915	2,74120737
N4	5,12072304	6,27982745	5,10950816	10,7982491	3,65558142	2,86320365	2,72036633	2,62977829	2,64462916	2,64232423	2,6503025
N5	5,14087184	6,70481576	5,45622381	8,9242607	3,39385354	2,77800339	2,6650725	2,59206562	2,61092157	2,60604548	2,60629609



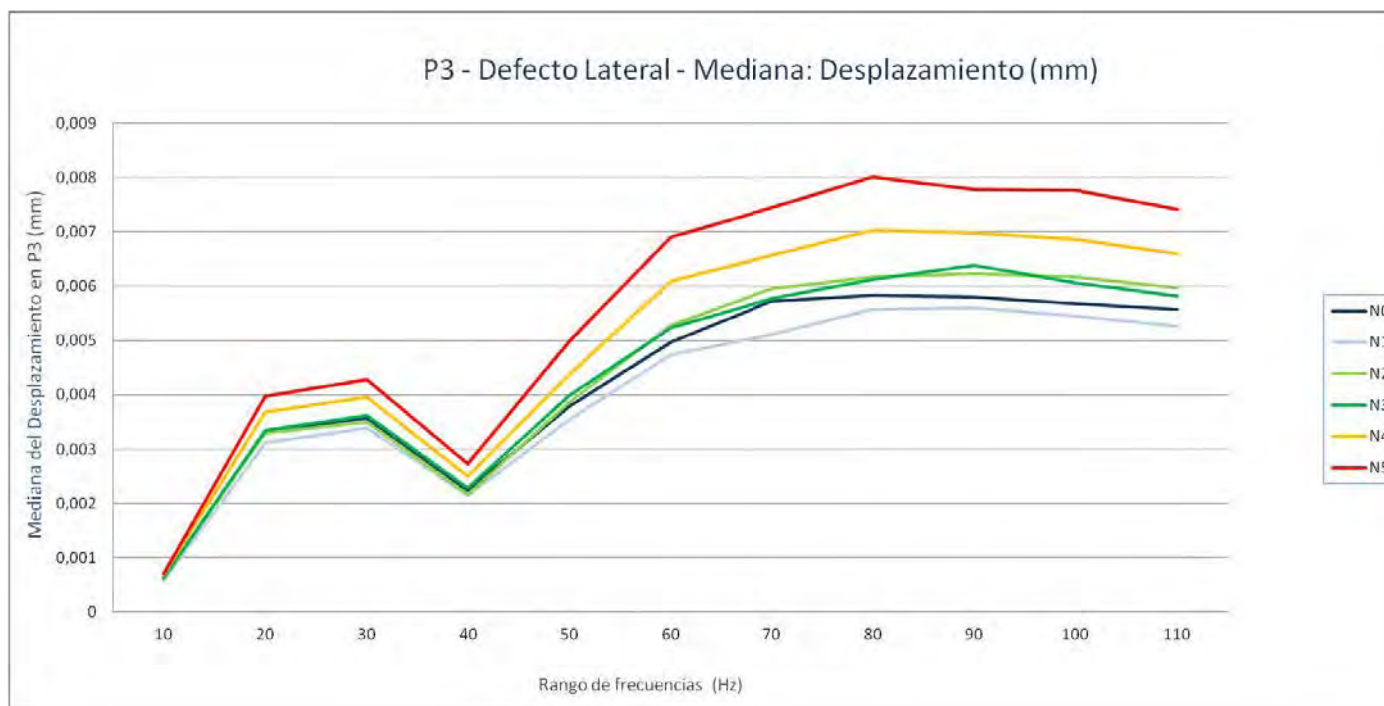
P3. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,01116345	0,01247526	0,01519254	0,00558411	0,02304072	0,03318882	0,03743036	0,03997246	0,04022138	0,03950669	0,03832258
N1	0,01088793	0,01192417	0,01439546	0,00542464	0,02180405	0,03128838	0,03521143	0,03761284	0,03783433	0,03722233	0,03608605
N2	0,01132731	0,01277334	0,01576485	0,00564768	0,02420931	0,03494468	0,03946652	0,04211664	0,04234844	0,04156733	0,04028525
N3	0,01160793	0,01298603	0,01588477	0,00592444	0,02439221	0,03502004	0,03943239	0,04205736	0,04228576	0,04150824	0,04024402
N4	0,01224304	0,01409508	0,01740085	0,00664245	0,02704252	0,03875448	0,04359745	0,04639212	0,04657927	0,04568727	0,0442561
N5	0,01293572	0,01527636	0,01920525	0,00784507	0,0306903	0,04356022	0,04876478	0,05175647	0,05182163	0,05073826	0,04910788



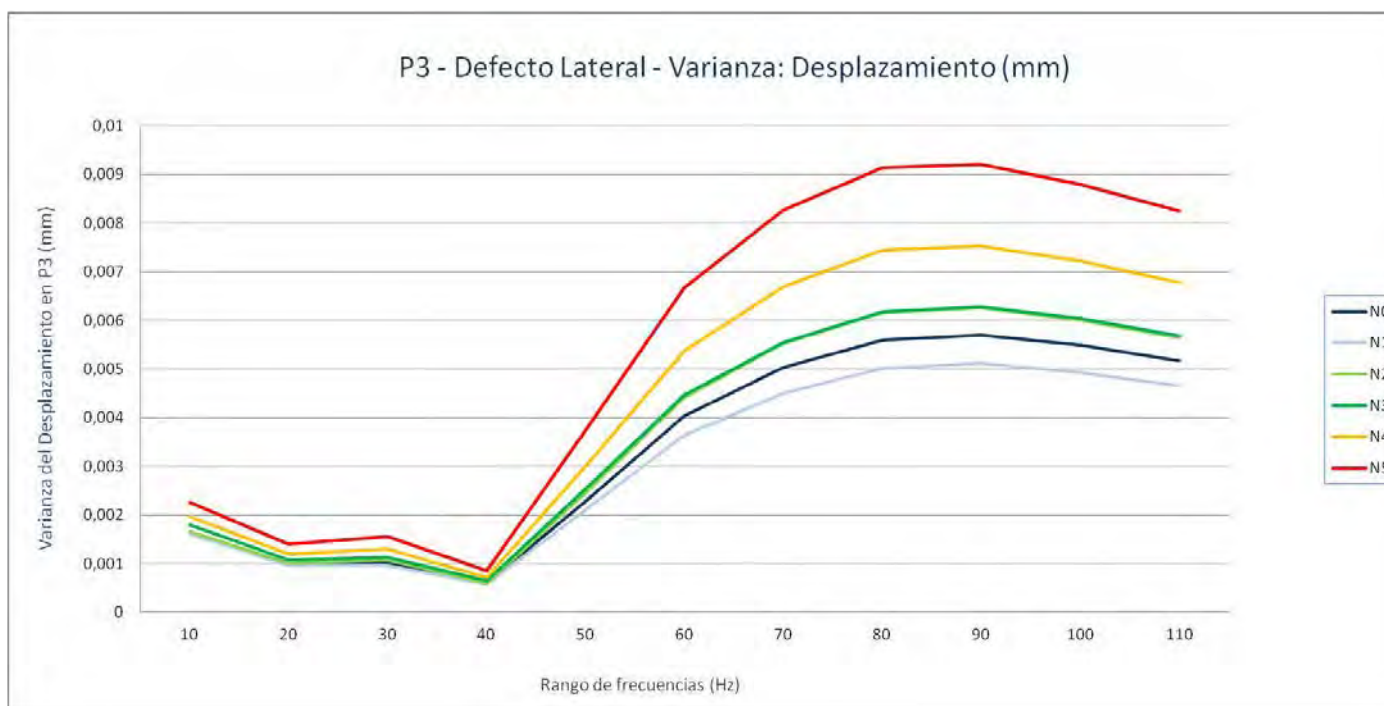
P3. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,000628737	0,00332998	0,003572048	0,002238453	0,003788405	0,004974034	0,005729135	0,005832161	0,005803316	0,005673713	0,005571653
N1	0,000585011	0,0031206	0,003392989	0,002150771	0,003538046	0,004742224	0,00510354	0,005576164	0,0056043	0,005444249	0,005268907
N2	0,000649768	0,003302822	0,00349585	0,00216756	0,003873099	0,00527586	0,005953514	0,006162705	0,006224012	0,006173308	0,005977508
N3	0,000634258	0,003350079	0,003619541	0,002284579	0,003988779	0,005236365	0,005775413	0,00612058	0,006381954	0,006066523	0,005818296
N4	0,000688649	0,00367651	0,003960498	0,002507921	0,004375238	0,006092138	0,006568524	0,007033706	0,006977122	0,006859953	0,006605285
N5	0,000696992	0,003979536	0,004280486	0,002735171	0,004980834	0,006900294	0,007440033	0,008005706	0,00777871	0,007773469	0,007420362



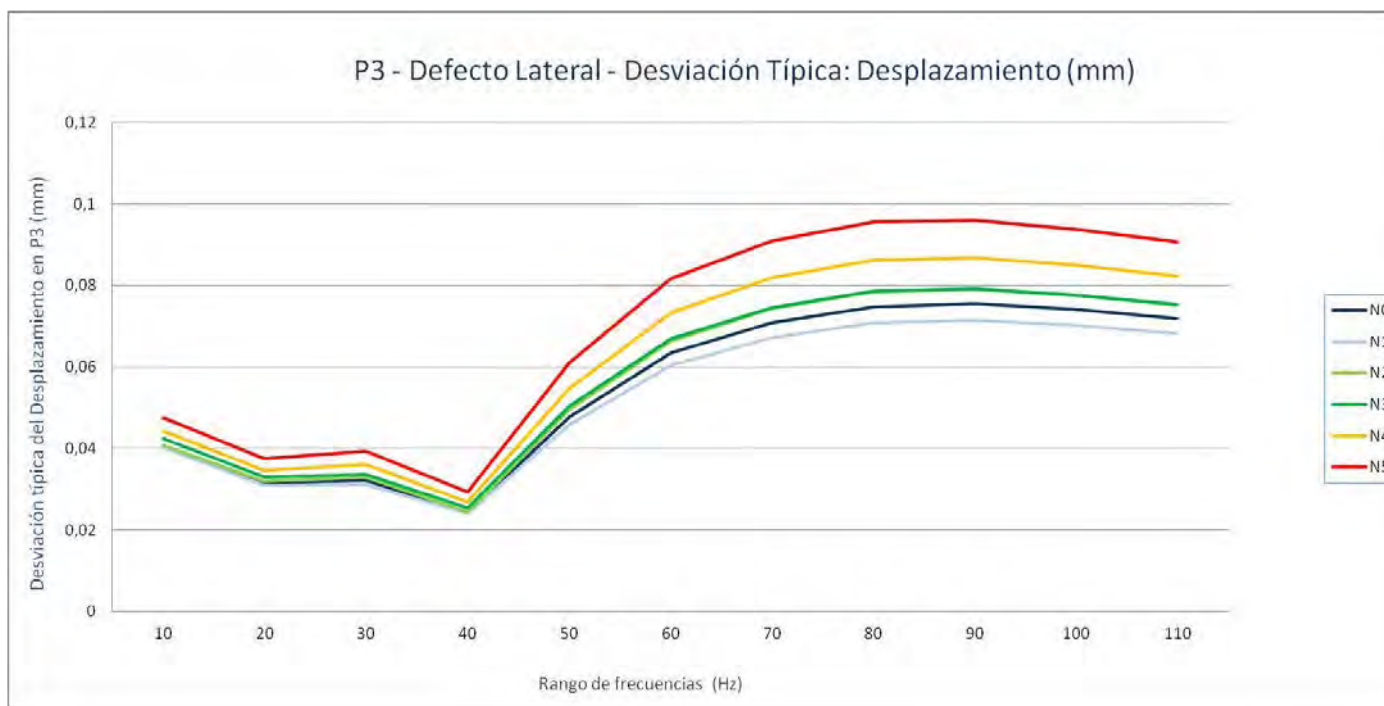
P3. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00164592	0,00099256	0,00102912	0,00058968	0,00227562	0,00403665	0,00502602	0,0056026	0,00570053	0,00549135	0,0051705
N1	0,00161321	0,00095782	0,00096439	0,00057629	0,00210983	0,00365266	0,00450466	0,00502289	0,00512134	0,0049308	0,00464882
N2	0,00165507	0,00101573	0,00108509	0,0005996	0,00244843	0,00441399	0,00552459	0,00615872	0,0062564	0,00601474	0,00565539
N3	0,001793	0,00108345	0,00112955	0,00064758	0,00253044	0,00447272	0,00555252	0,00617917	0,00627592	0,00603665	0,00567875
N4	0,00196249	0,00120544	0,00129839	0,00072045	0,00299105	0,00536783	0,00669817	0,00743826	0,00752712	0,00722095	0,00678009
N5	0,00225717	0,00139975	0,00154812	0,00085563	0,00372719	0,00666983	0,00827242	0,00914254	0,00920611	0,00880247	0,00824181



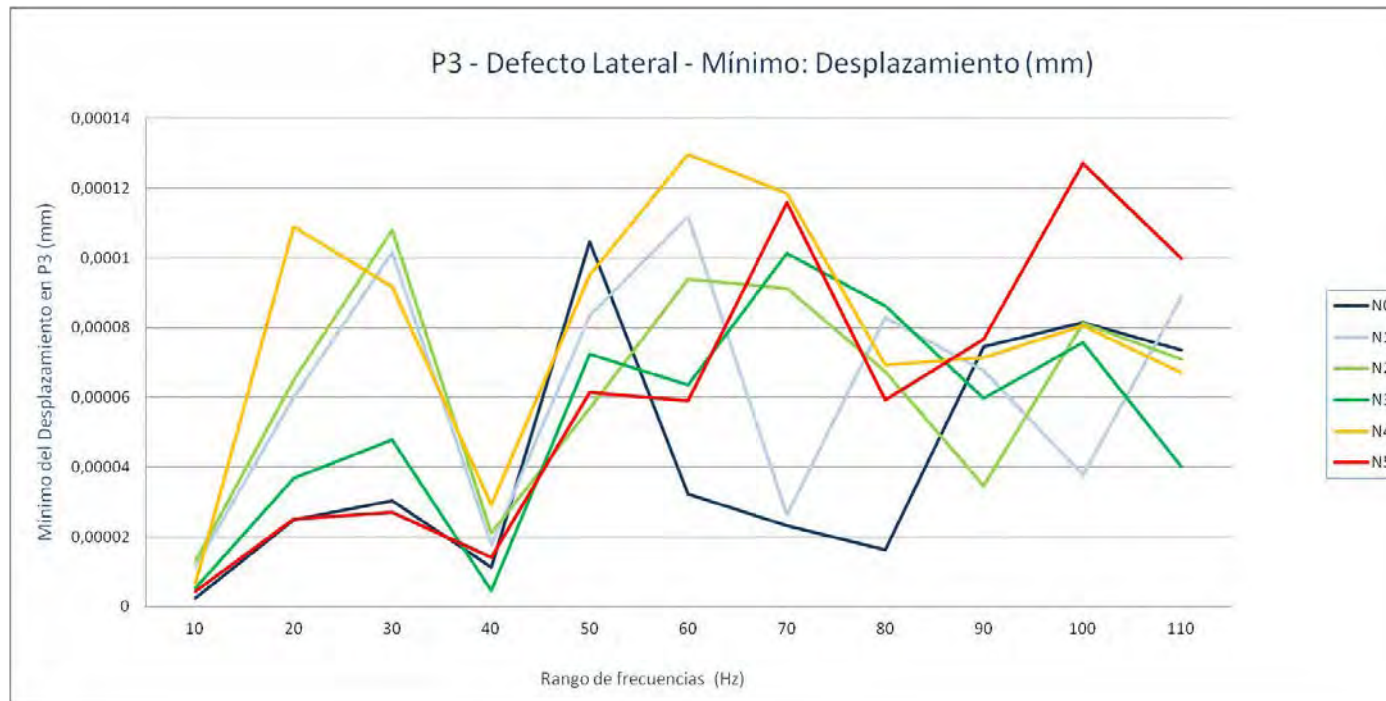
P3. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,040569945	0,031504855	0,032079974	0,024283384	0,047703458	0,063534628	0,070894446	0,074850511	0,075501827	0,074103651	0,071906212
N1	0,040164845	0,030948589	0,031054576	0,024005969	0,04593284	0,060437231	0,067116771	0,07087238	0,071563531	0,070219643	0,068182259
N2	0,040682546	0,031870458	0,032940648	0,02448679	0,049481637	0,066437881	0,074327571	0,078477531	0,079097402	0,077554781	0,075202348
N3	0,04234379	0,032915804	0,033608776	0,025447532	0,050303433	0,066878387	0,074515207	0,07860768	0,07922072	0,077695875	0,075357482
N4	0,044300052	0,03471941	0,036033147	0,026841224	0,054690513	0,0732655	0,081842359	0,086245338	0,086758961	0,084976178	0,082341301
N5	0,047509713	0,037413285	0,039346136	0,0292512	0,061050697	0,081668997	0,090952842	0,095616634	0,095948476	0,093821498	0,090784395



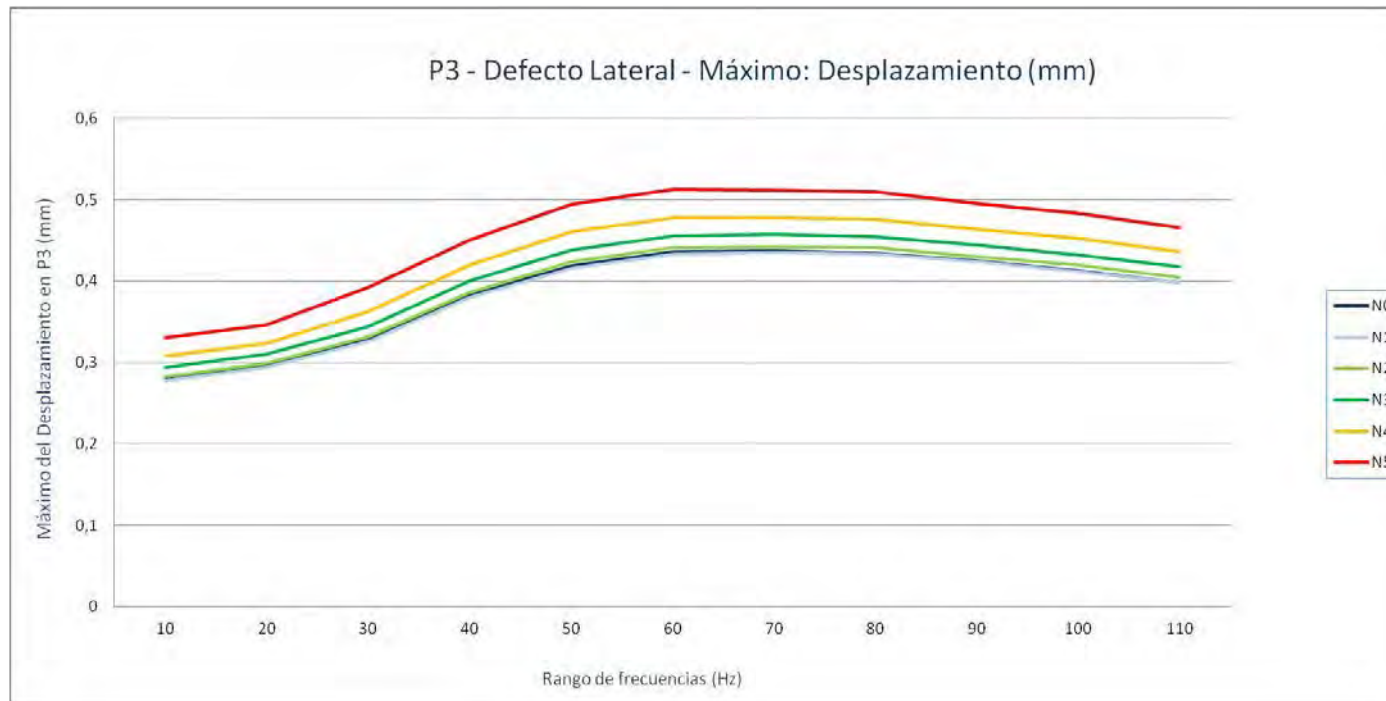
P3. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	2,4768E-06	2,4974E-05	3,0415E-05	1,137E-05	0,00010463	3,2331E-05	2,3307E-05	1,6388E-05	7,4462E-05	8,1564E-05	7,3636E-05
N1	1,1612E-05	6,0025E-05	0,00010152	1,7618E-05	8,3412E-05	0,00011191	2,6246E-05	8,2962E-05	6,7597E-05	3,7808E-05	8,8592E-05
N2	1,2835E-05	6,5117E-05	0,00010804	2,1003E-05	5,6919E-05	9,3821E-05	9,1243E-05	6,7428E-05	3,4559E-05	8,1308E-05	7,0907E-05
N3	5,2214E-06	3,6708E-05	4,7807E-05	4,5241E-06	7,2307E-05	6,3602E-05	0,00010134	8,633E-05	5,9628E-05	7,5839E-05	4,0252E-05
N4	6,6161E-06	0,00010904	9,1777E-05	2,92E-05	9,4985E-05	0,00012981	0,00011852	6,9227E-05	7,1559E-05	8,0417E-05	6,7195E-05
N5	4,404E-06	2,5005E-05	2,7026E-05	1,4177E-05	6,1507E-05	5,9104E-05	0,00011588	5,9374E-05	7,668E-05	0,00012702	9,9857E-05



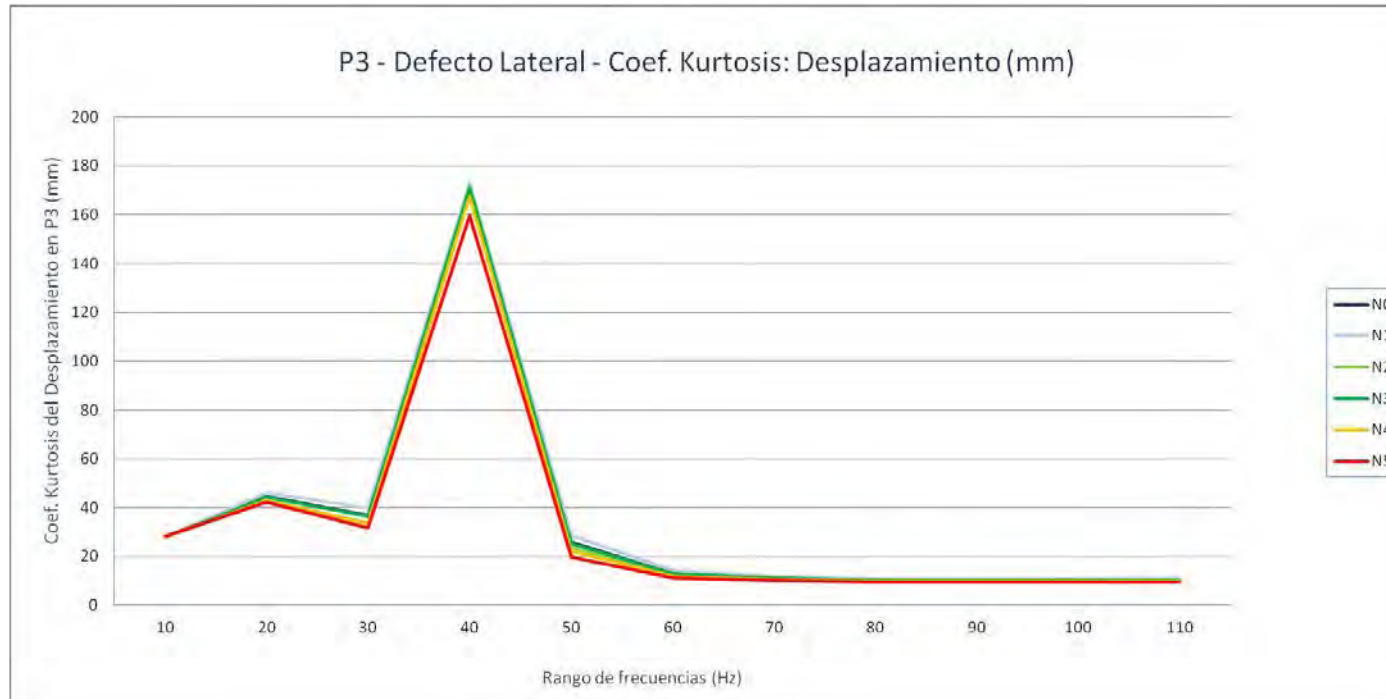
P3. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,2813915	0,29755619	0,32932571	0,38276839	0,41898459	0,43585661	0,43735811	0,43426141	0,4246428	0,41285029	0,3987743
N1	0,2775116	0,29437691	0,3251535	0,37972161	0,41562241	0,43337521	0,43558261	0,43274841	0,4234238	0,41199431	0,39803261
N2	0,28266841	0,29877901	0,33161139	0,3862552	0,42367601	0,44139951	0,44279891	0,44107431	0,42999199	0,41949251	0,4046959
N3	0,29373401	0,31018701	0,3445152	0,40010789	0,43828899	0,45598081	0,4574661	0,454705	0,44424379	0,43240359	0,41754419
N4	0,30818069	0,32408521	0,3626495	0,41934049	0,46026301	0,47801501	0,4784925	0,47659171	0,4641352	0,4526563	0,43660021
N5	0,3308776	0,34592101	0,39191169	0,45039219	0,49491471	0,51258218	0,51167881	0,51010031	0,49534509	0,48344579	0,46574631



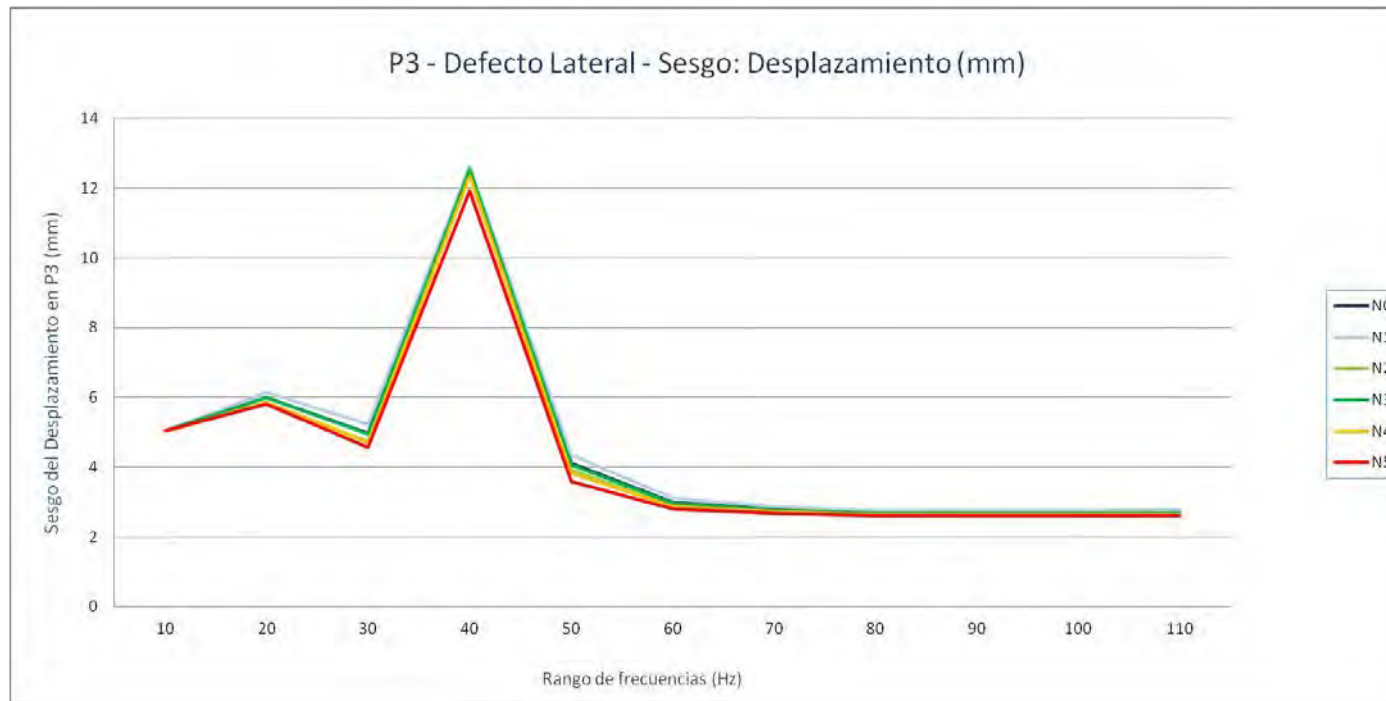
P3. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	28,0650518	44,5279545	36,7076061	172,164436	25,9020931	13,1028845	11,2529107	10,3291728	10,2849922	10,3214383	10,4071746
N1	28,1205138	46,092023	40,0279184	172,988946	28,7598552	14,3246284	12,0402189	10,9301135	10,9003246	10,9725975	11,0906699
N2	27,9804371	43,0027802	33,8548155	171,840603	23,5401179	12,1862863	10,6444674	9,84511334	9,82485848	9,84851571	9,89907997
N3	28,0825624	44,4261597	36,3992151	170,752188	25,1483407	12,8948801	11,119283	10,220418	10,1917457	10,2279133	10,3093039
N4	28,0597352	42,9279602	33,4847724	167,477282	22,292721	11,9368204	10,5609848	9,81915557	9,80728453	9,82894669	9,87555369
N5	28,1849344	42,3132014	31,826916	159,510328	19,7959861	11,2822971	10,2341369	9,59819904	9,59792147	9,61354756	9,64566808



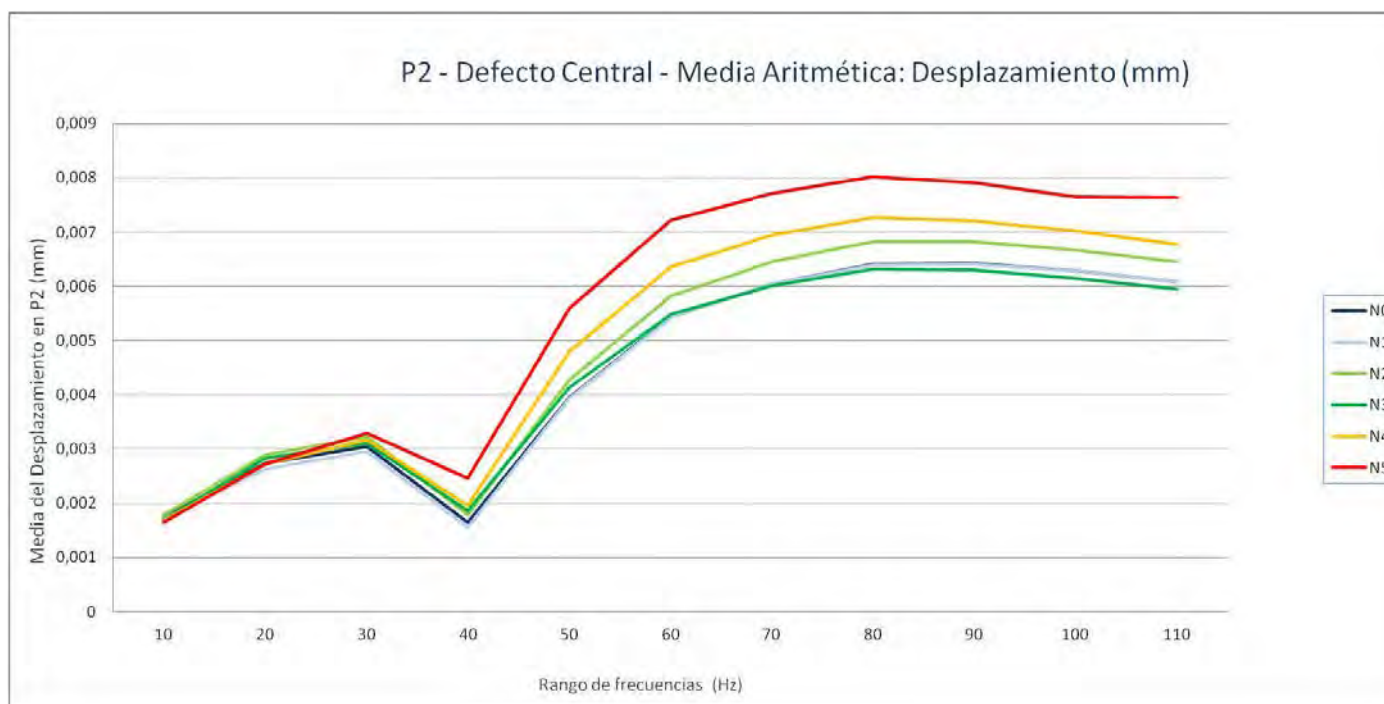
P3. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,02870171	6,00704057	4,9736572	12,5976415	4,11841219	2,98840772	2,79580099	2,68430015	2,68446854	2,68572545	2,6959437
N1	5,0397626	6,15162941	5,2334744	12,6311116	4,34856219	3,10638652	2,87617584	2,7499035	2,75404406	2,75812488	2,77117221
N2	5,01593831	5,86684064	4,74210553	12,5667366	3,91648202	2,8924975	2,72889264	2,62838386	2,63050787	2,62998024	2,6360935
N3	5,03153064	5,9982083	4,94419319	12,5221026	4,0538985	2,96528538	2,77969076	2,67065965	2,67242357	2,67346949	2,68319426
N4	5,02577953	5,85995933	4,70786026	12,347391	3,81414304	2,8681027	2,71955659	2,6248378	2,62706735	2,62714726	2,63306017
N5	5,04153182	5,80335143	4,56589639	11,9273738	3,59774106	2,79685767	2,68055213	2,59640301	2,59886741	2,59871849	2,60324653



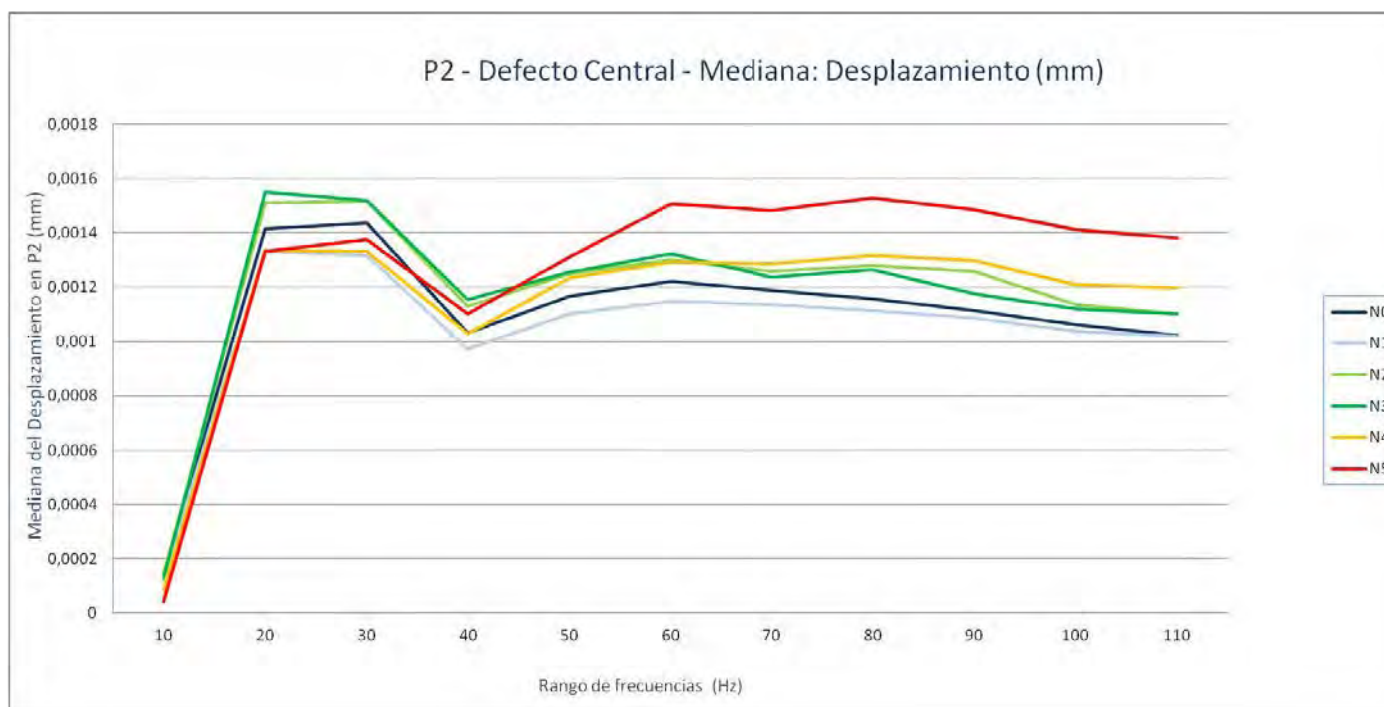
P2. Grieta central - Desplazamiento (mm): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00174699	0,00273752	0,0030447	0,00164924	0,00395721	0,00543402	0,00603929	0,00640238	0,00641619	0,00628938	0,00609137
N1	0,00172449	0,00263434	0,00295425	0,00156304	0,00393662	0,00542361	0,00603378	0,00639721	0,0064129	0,00627994	0,00608444
N2	0,00178303	0,00289179	0,00322804	0,00179243	0,00427669	0,00582292	0,00644819	0,00681488	0,00681592	0,00666547	0,00644808
N3	0,00168919	0,00283428	0,00310418	0,00187054	0,0041344	0,00548779	0,00600611	0,00631845	0,00630229	0,00614904	0,00594417
N4	0,00168507	0,00272102	0,00316938	0,00196209	0,00480035	0,00636807	0,00694303	0,00726689	0,00721334	0,00702302	0,00677448
N5	0,0016473	0,00272006	0,00329626	0,0024641	0,00559862	0,00721603	0,00771968	0,00802279	0,00790677	0,0076548	0,00764103



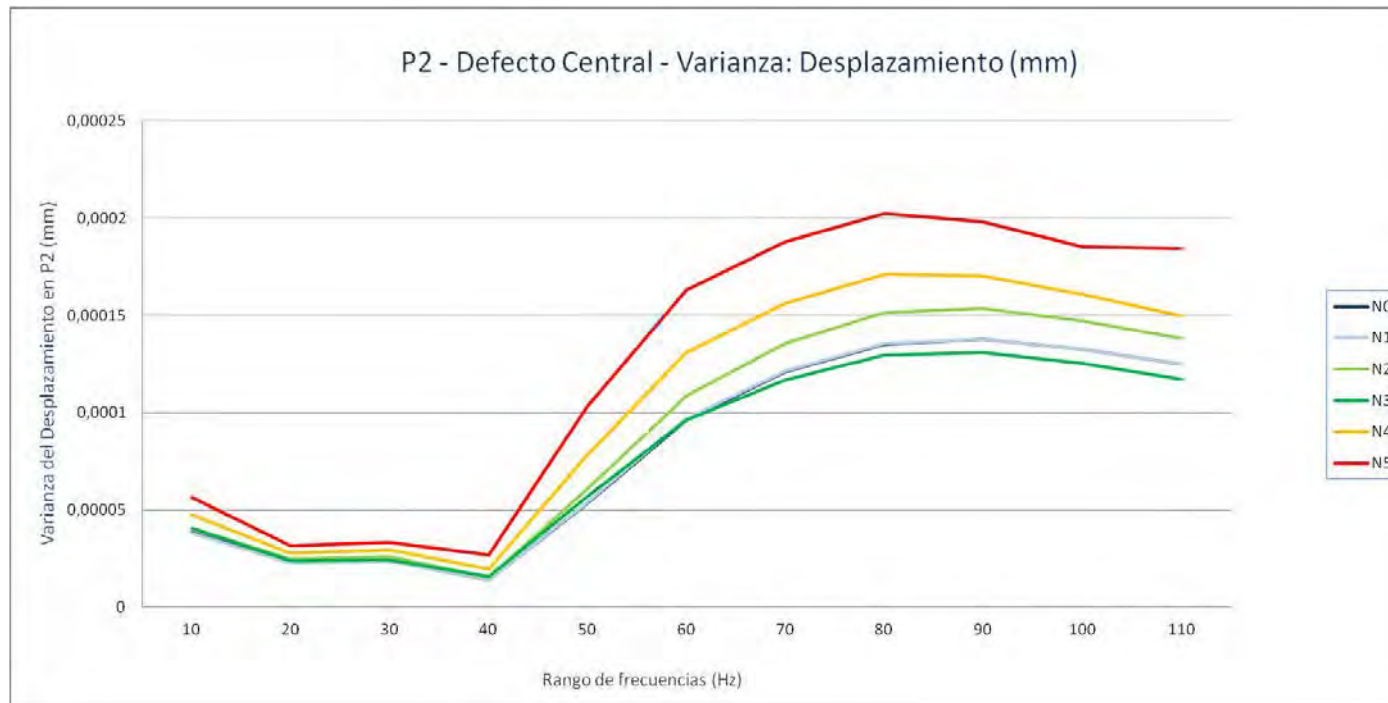
P2. Grieta central - Desplazamiento (mm): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,000144825	0,0014147	0,00143523	0,001031631	0,001166221	0,0012211	0,001187265	0,001157971	0,001115686	0,001061495	0,001021034
N1	0,000133555	0,001330995	0,001317233	0,000972126	0,001102743	0,001146701	0,001136662	0,001112757	0,001087232	0,001037592	0,00101997
N2	0,000142591	0,001510669	0,001517498	0,001128213	0,001248793	0,001300352	0,001259813	0,001279614	0,001259861	0,001134153	0,001100653
N3	0,000127615	0,00154893	0,001519077	0,001154213	0,001255891	0,001323488	0,001235589	0,001264083	0,001176727	0,001121085	0,001101026
N4	8,41975E-05	0,001334073	0,001332937	0,001028594	0,001233372	0,001292137	0,001286355	0,001317756	0,001298072	0,001209743	0,001196127
N5	4,4022E-05	0,00133095	0,001373899	0,001100876	0,001309304	0,001505819	0,001481146	0,001527526	0,001484945	0,001411159	0,001380655



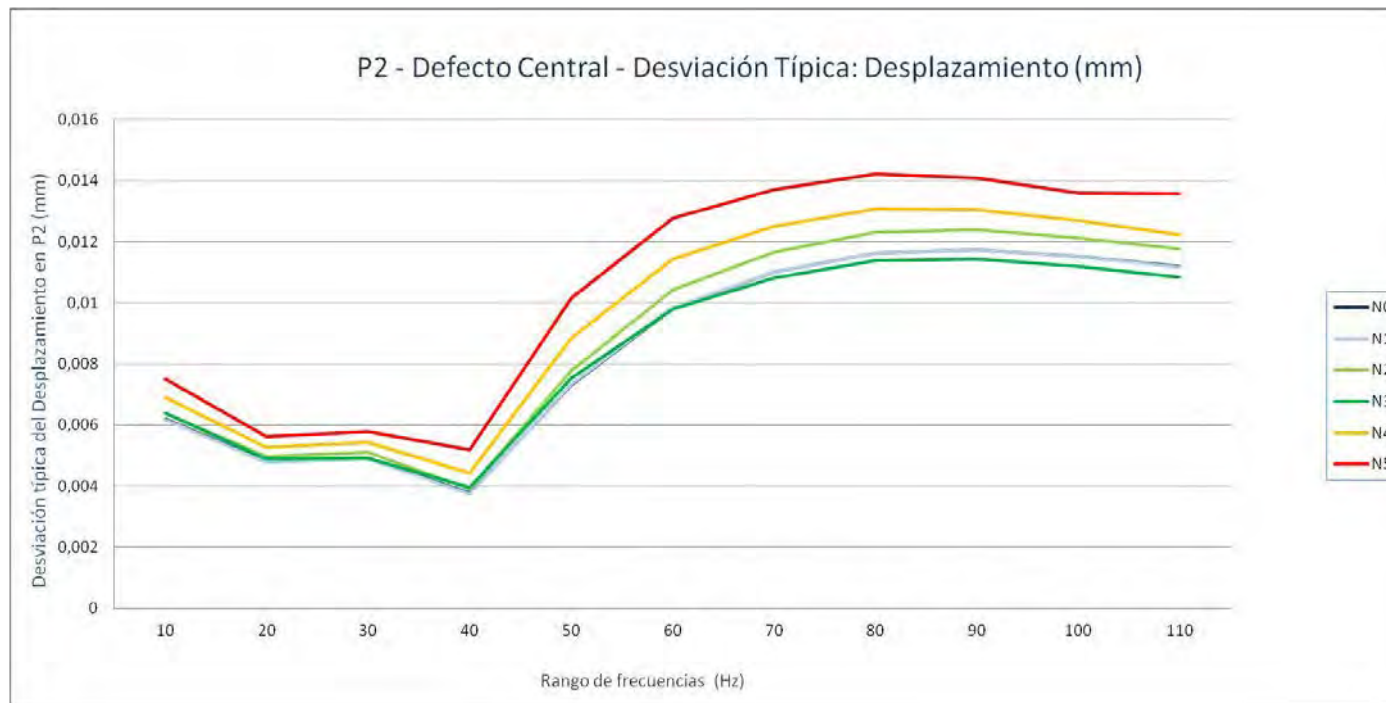
P2. Grieta central - Desplazamiento (mm): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	3,8513E-05	2,3175E-05	2,4065E-05	1,4155E-05	5,3592E-05	9,6396E-05	0,00012088	0,00013522	0,00013787	0,00013276	0,00012502
N1	3,7947E-05	2,2826E-05	2,3911E-05	1,3971E-05	5,4008E-05	9,6967E-05	0,00012131	0,00013547	0,00013788	0,00013265	0,00012476
N2	4,0728E-05	2,4735E-05	2,6232E-05	1,533E-05	6,0608E-05	0,00010884	0,00013582	0,00015137	0,00015351	0,00014728	0,00013831
N3	4,0767E-05	2,3976E-05	2,4255E-05	1,5607E-05	5,6747E-05	9,6347E-05	0,00011694	0,00012954	0,00013089	0,00012517	0,00011739
N4	4,7593E-05	2,7858E-05	2,9506E-05	1,9704E-05	7,8246E-05	0,00013089	0,0001562	0,00017106	0,00017029	0,00016096	0,00014986
N5	5,6352E-05	3,171E-05	3,3555E-05	2,7059E-05	0,00010303	0,00016313	0,00018784	0,00020249	0,00019821	0,00018513	0,00018441



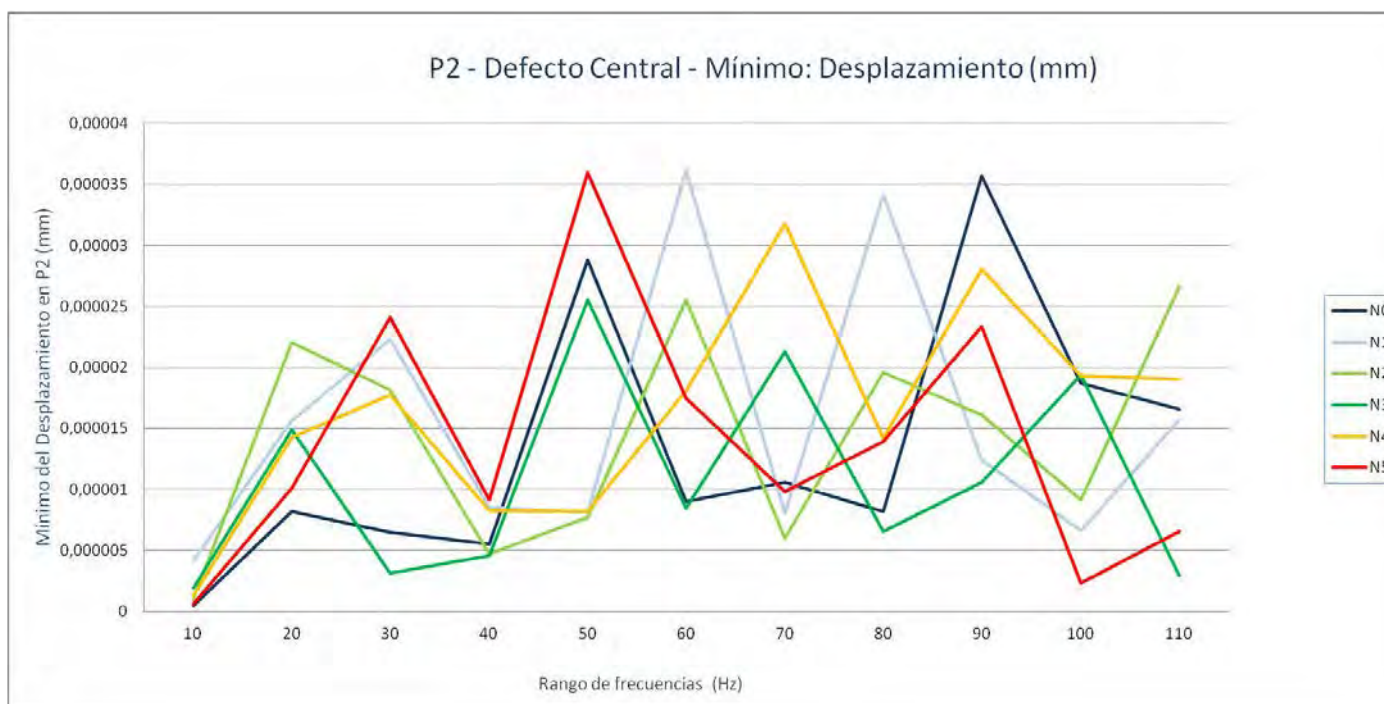
P2. Grieta central - Desplazamiento (mm): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,006205863	0,004814063	0,00490565	0,003762252	0,007320663	0,009818152	0,010994534	0,011628313	0,011741906	0,011522134	0,011181361
N1	0,006160126	0,004777681	0,004889937	0,003737732	0,007349003	0,009847179	0,01101393	0,011639105	0,011742397	0,011517453	0,011169825
N2	0,006381877	0,004973414	0,005121746	0,003915295	0,007785126	0,01043276	0,01165399	0,012303065	0,012389975	0,012135845	0,011760538
N3	0,006384869	0,004896503	0,004924909	0,003950558	0,007533032	0,00981565	0,010813983	0,011381356	0,011440744	0,011187867	0,010834737
N4	0,006898791	0,005278058	0,005431981	0,00443897	0,008845662	0,011440753	0,012498188	0,013079084	0,013049456	0,012687138	0,012241635
N5	0,007506773	0,005631155	0,005792666	0,00520183	0,010150203	0,012772308	0,013705652	0,014229891	0,014078873	0,013606242	0,013579763



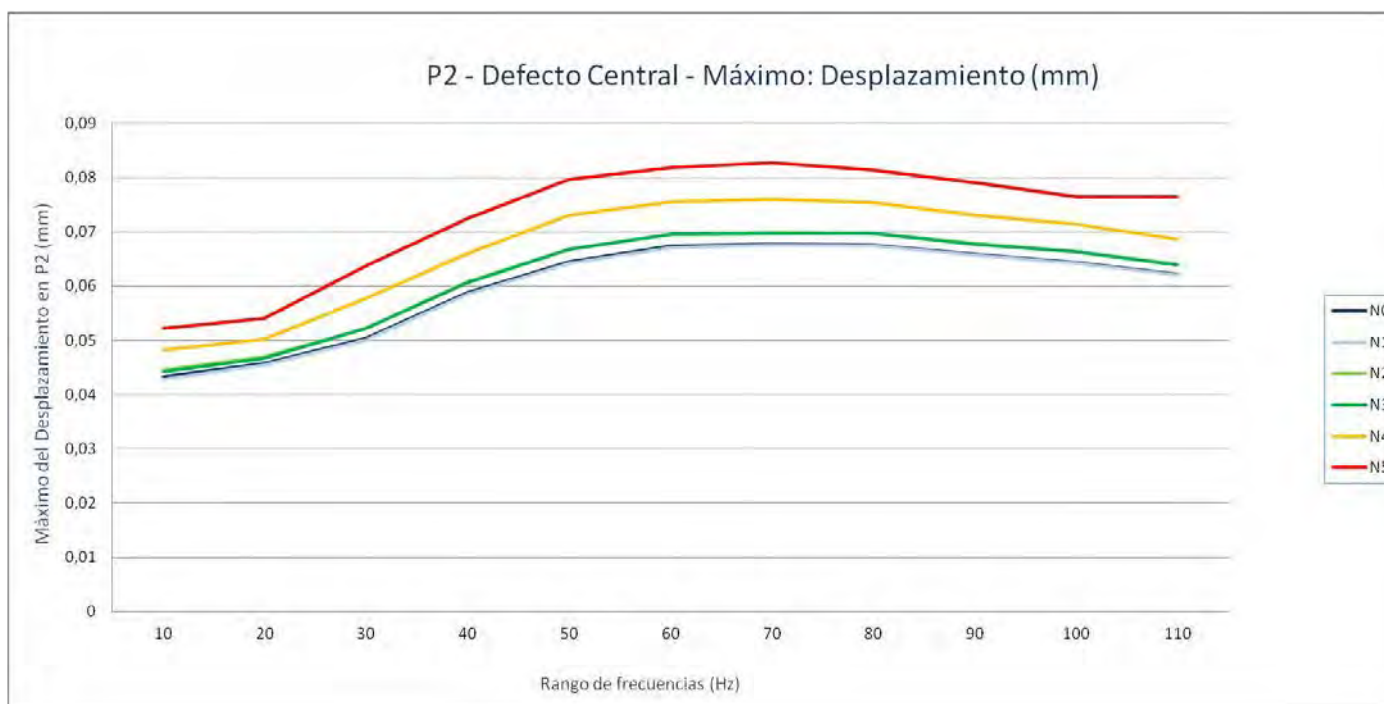
P2. Grieta central - Desplazamiento (mm): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	4,7593E-07	8,2281E-06	6,476E-06	5,5318E-06	2,8781E-05	9,0128E-06	1,061E-05	8,2215E-06	3,5685E-05	1,8682E-05	1,662E-05
N1	4,2015E-06	1,5665E-05	2,2303E-05	8,5751E-06	8,148E-06	3,6196E-05	8,0382E-06	3,4162E-05	1,2404E-05	6,6317E-06	1,5706E-05
N2	1,0485E-06	2,2066E-05	1,818E-05	4,7432E-06	7,7555E-06	2,5506E-05	6,019E-06	1,9589E-05	1,6129E-05	9,1643E-06	2,6656E-05
N3	1,9299E-06	1,4888E-05	3,1601E-06	4,5648E-06	2,5504E-05	8,4875E-06	2,131E-05	6,5478E-06	1,0559E-05	1,9381E-05	2,9738E-06
N4	1,2938E-06	1,4287E-05	1,7736E-05	8,2727E-06	8,1859E-06	1,8107E-05	3,1799E-05	1,4222E-05	2,8089E-05	1,934E-05	1,9021E-05
N5	6,4883E-07	1,0114E-05	2,4131E-05	9,1414E-06	3,5972E-05	1,7449E-05	9,8487E-06	1,3936E-05	2,3362E-05	2,3297E-06	6,5847E-06



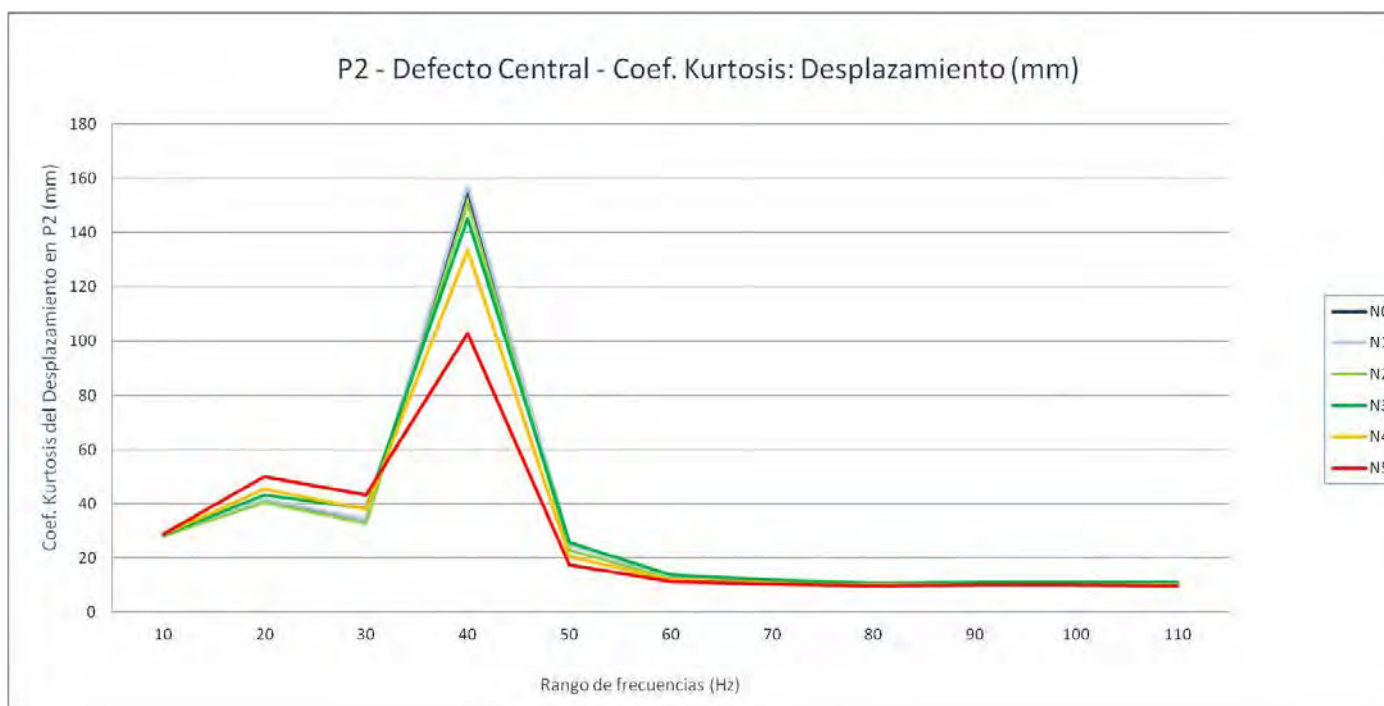
P2. Grieta central - Desplazamiento (mm): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,04326752	0,04579986	0,05035158	0,05882758	0,06453194	0,06739935	0,06775563	0,06756221	0,06592413	0,0644076	0,06216264
N1	0,04290575	0,04541497	0,05009179	0,05855032	0,06426852	0,06715685	0,06751319	0,06738398	0,06569988	0,06425406	0,06199699
N2	0,04458848	0,04697201	0,05220146	0,0607617	0,06680011	0,06964479	0,06981867	0,06978453	0,06780806	0,06639677	0,06397536
N3	0,04431727	0,0466812	0,05222153	0,06070485	0,06674296	0,06958017	0,06976638	0,06973713	0,06777966	0,06637697	0,06396728
N4	0,04823499	0,05023645	0,05768843	0,06610822	0,07306712	0,07561837	0,07607098	0,07547838	0,07303823	0,07135291	0,06860529
N5	0,05216158	0,05401965	0,06368395	0,07243687	0,07974435	0,08192033	0,08281962	0,08137979	0,07914109	0,07642573	0,07641836



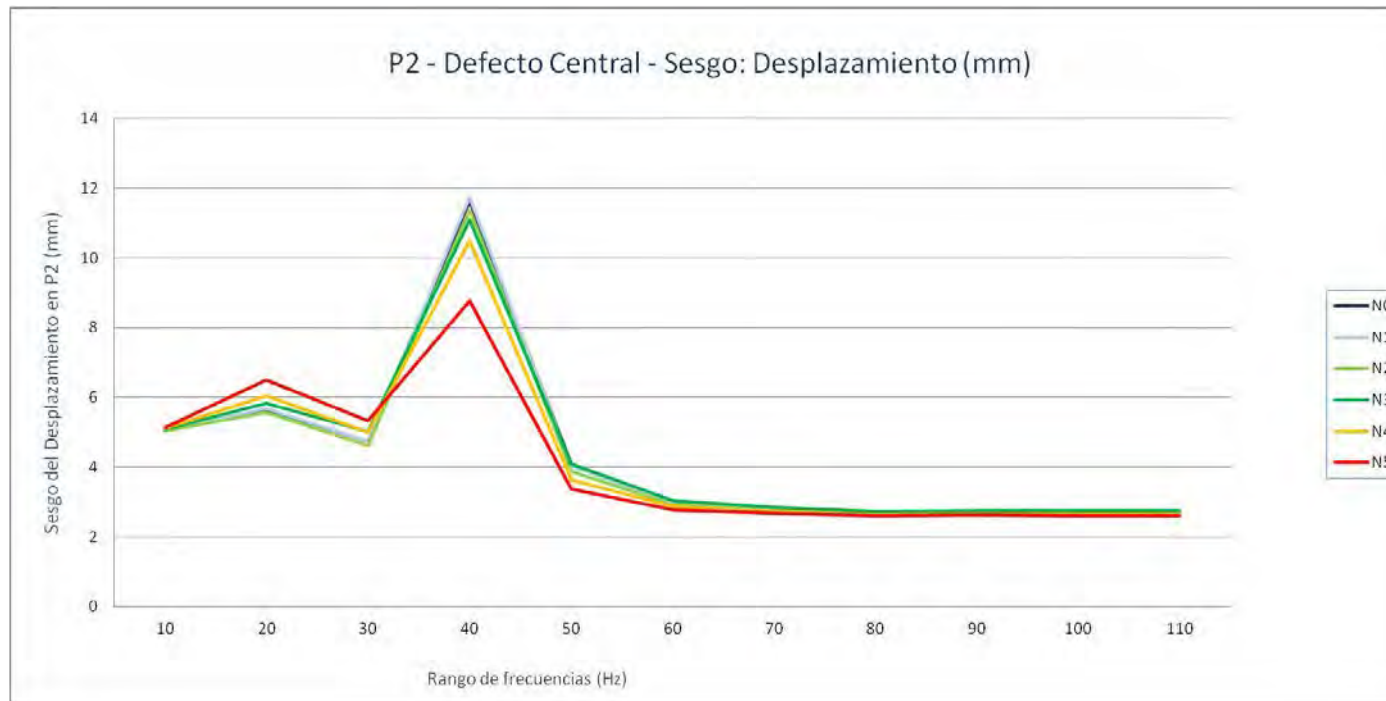
P2. Grieta central - Desplazamiento (mm): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	28,1399685	41,2432872	34,4936222	155,329307	25,5002987	13,018167	11,2531139	10,3522579	10,3313783	10,3625688	10,419768
N1	28,1114025	41,642226	34,4221263	157,394734	24,8161317	12,7765875	11,0714859	10,195349	10,1916768	10,2198998	10,2795237
N2	28,2138638	40,4306939	32,9766074	150,924613	23,122496	12,3554758	10,8842292	10,0835681	10,0961105	10,1139125	10,1506582
N3	28,4910775	43,1600891	38,4036545	145,11357	25,738862	13,7824764	11,8404308	10,8296546	10,9158659	10,9653185	11,0625706
N4	28,7464914	45,4821761	38,1889894	133,668982	20,4220833	12,0653406	10,7759407	10,0247302	10,1577599	10,1668701	10,2010648
N5	28,8580728	50,084799	43,4169856	102,743136	17,5784403	11,4251842	10,4271171	9,810531	10,0126579	9,9922356	9,94970068



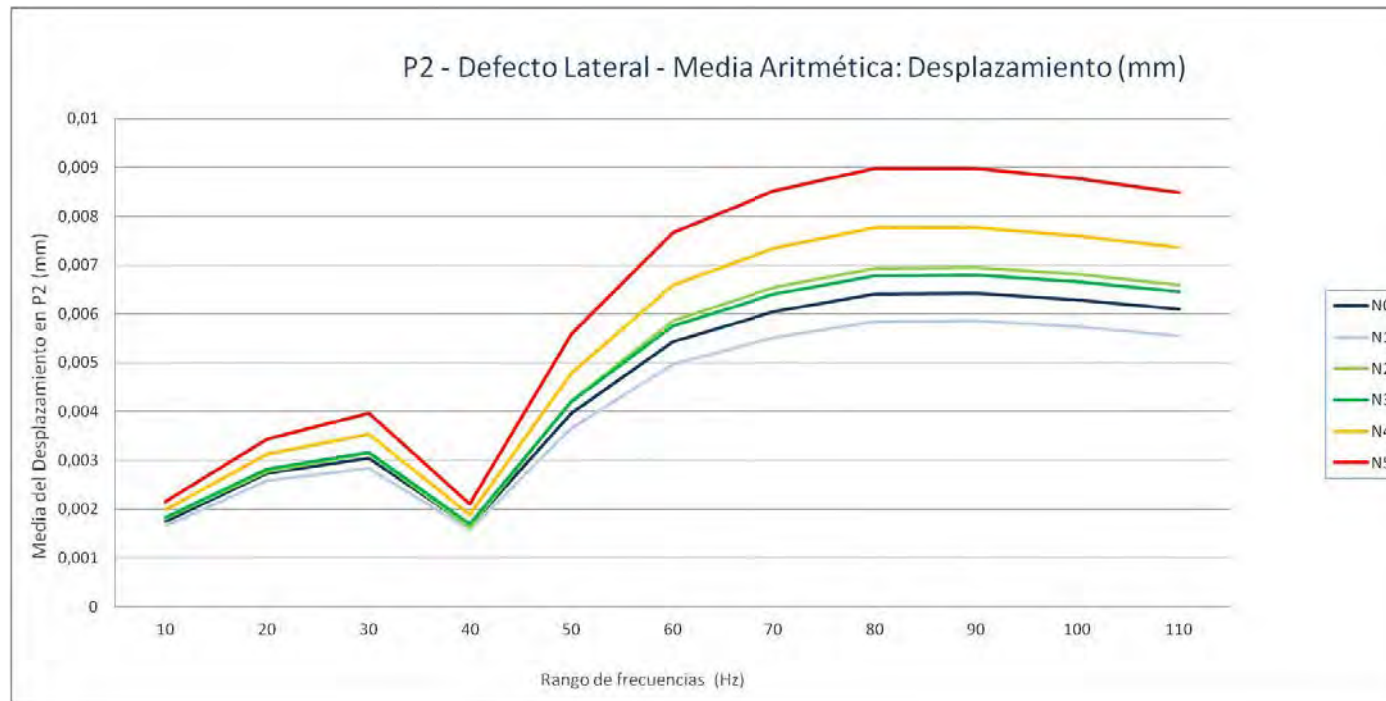
P2. Grieta central - Desplazamiento (mm): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,03357942	5,65422774	4,74189494	11,6279457	4,08059417	2,98382604	2,79987878	2,69061173	2,69314444	2,69291721	2,69948609
N1	5,03143736	5,69758703	4,7407452	11,7440876	4,02295978	2,95690835	2,77832526	2,67131717	2,67587289	2,67498163	2,68201829
N2	5,04238573	5,57368318	4,60585444	11,3830023	3,8803078	2,91408723	2,75754016	2,65790359	2,66344566	2,66162812	2,66615387
N3	5,08640077	5,82550894	5,00937841	11,0734072	4,09139113	3,04805537	2,8497947	2,73546586	2,75050229	2,75104465	2,7624859
N4	5,1242636	6,05627796	4,98809807	10,4762297	3,63959357	2,86378931	2,72563343	2,63582945	2,65313851	2,64974936	2,65506831
N5	5,14487839	6,4897472	5,33744714	8,77400654	3,37461816	2,77762483	2,66969969	2,5979765	2,62175389	2,61395161	2,60883702



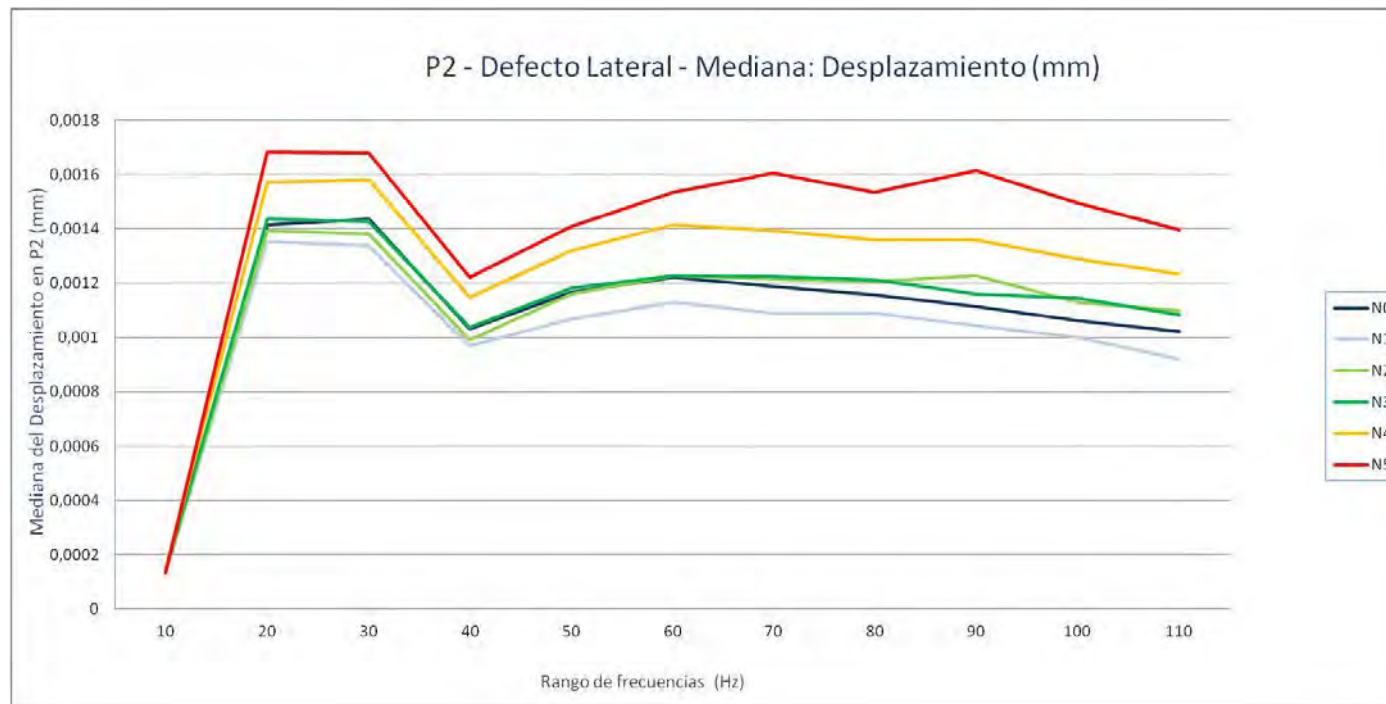
P2. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00174699	0,00273752	0,0030447	0,00164924	0,00395721	0,00543402	0,00603929	0,00640238	0,00641619	0,00628938	0,00609137
N1	0,00166899	0,00258123	0,00283644	0,00157782	0,00365113	0,00497388	0,00550858	0,00583764	0,00585135	0,00573744	0,00555779
N2	0,00181133	0,00277597	0,00315007	0,00162559	0,00422605	0,00585947	0,00654058	0,00693537	0,00695346	0,00680957	0,00659478
N3	0,00182786	0,00282472	0,00315798	0,00169014	0,00419412	0,00576091	0,00640366	0,00678429	0,00679825	0,00665848	0,00644722
N4	0,00198333	0,00313531	0,00353902	0,00187735	0,00479103	0,00659691	0,00733696	0,00776269	0,00776764	0,00760243	0,0073544
N5	0,00215767	0,00342682	0,00395739	0,0020986	0,00557811	0,00766769	0,00851532	0,00898425	0,00897548	0,0087748	0,00847799



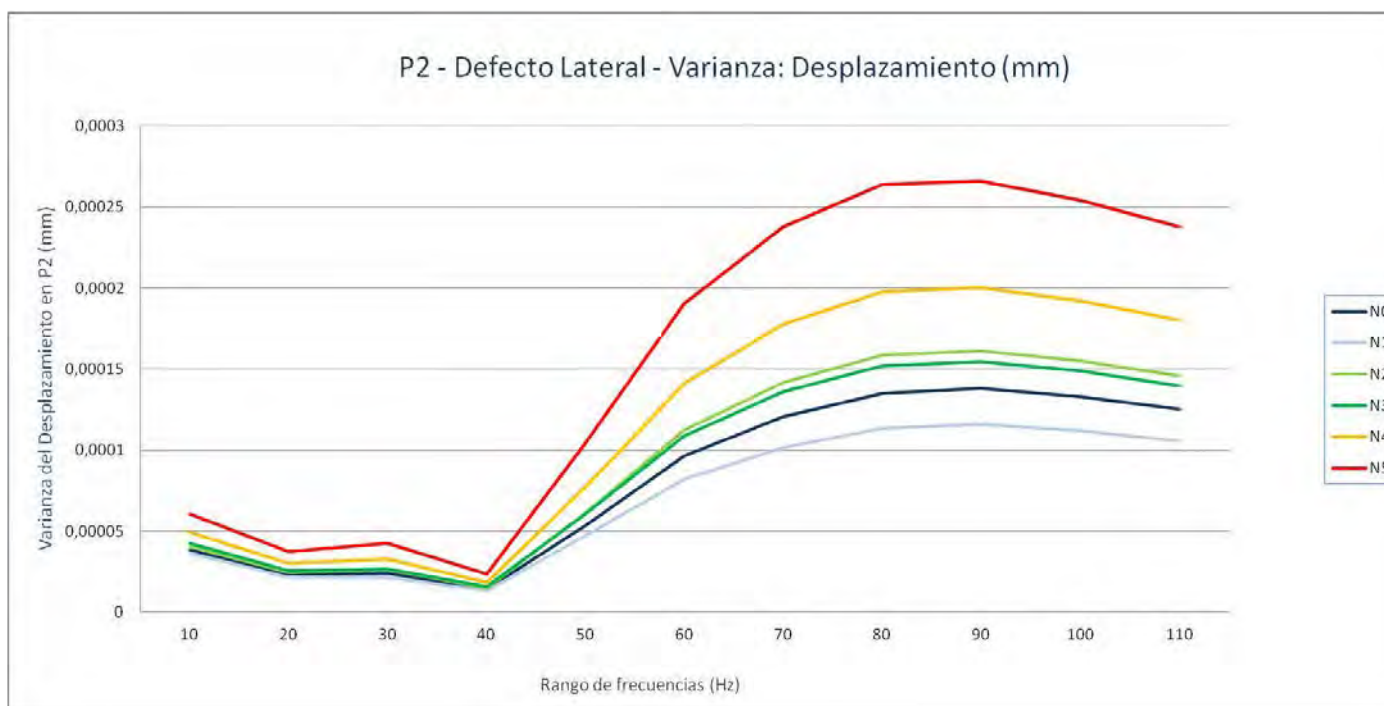
P2. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,000144825	0,0014147	0,00143523	0,001031631	0,001166221	0,0012211	0,001187265	0,001157971	0,001115686	0,001061495	0,001021034
N1	0,000134612	0,001353977	0,001337842	0,000970289	0,001067038	0,001129046	0,00108826	0,001088582	0,00104236	0,001001281	0,000920465
N2	0,000141298	0,001393611	0,001382029	0,000990787	0,001159925	0,001228188	0,001216137	0,001205002	0,001226235	0,00112877	0,001098243
N3	0,000140521	0,001435146	0,001428667	0,001036041	0,001181346	0,001226645	0,001223232	0,001211615	0,001160585	0,001143656	0,001083164
N4	0,000148342	0,001570547	0,001579819	0,001146577	0,001318969	0,001416376	0,001392321	0,001359881	0,001361024	0,001288254	0,001232525
N5	0,000133397	0,001683292	0,001679373	0,001223	0,001408059	0,001536208	0,001605477	0,00153404	0,001615255	0,001493361	0,001395957



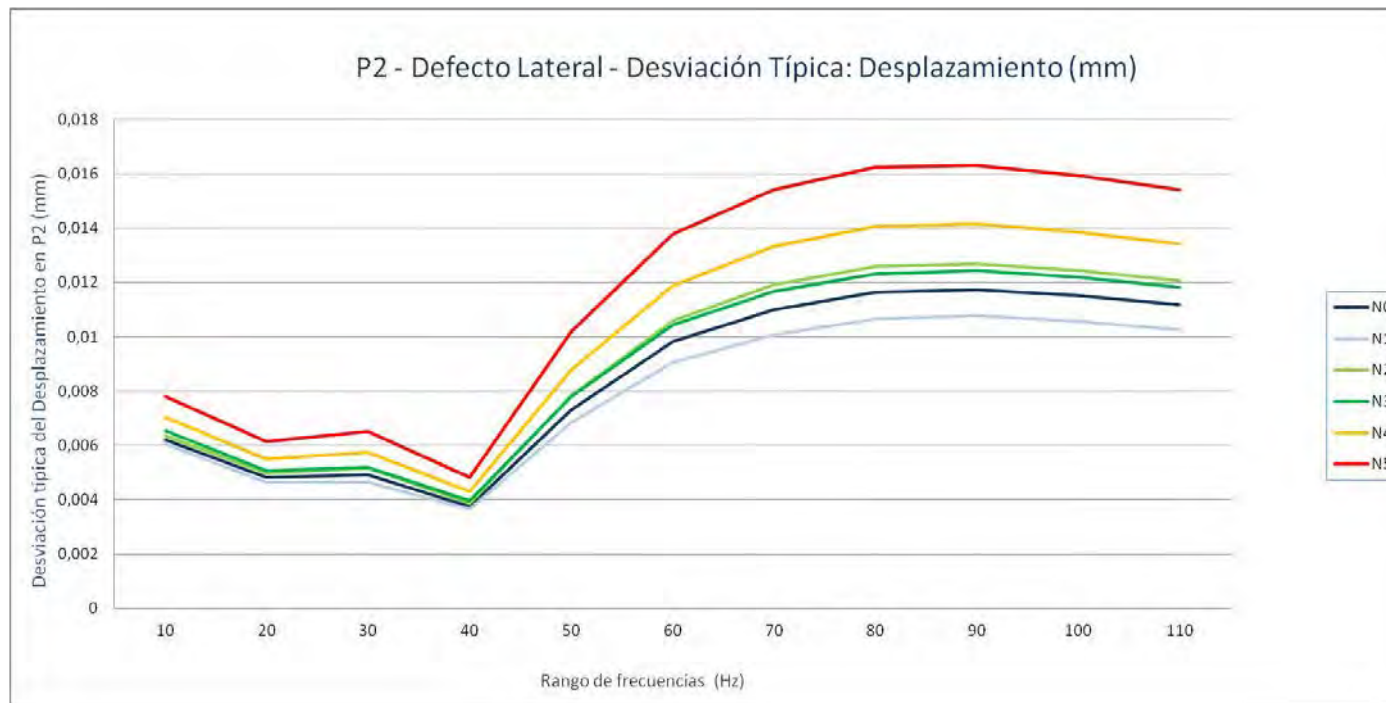
P2. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	3,8513E-05	2,3175E-05	2,4065E-05	1,4155E-05	5,3592E-05	9,6396E-05	0,00012088	0,00013522	0,00013787	0,00013276	0,00012502
N1	3,6574E-05	2,1551E-05	2,1522E-05	1,3335E-05	4,7028E-05	8,1981E-05	0,00010159	0,00011353	0,00011606	0,0001119	0,00010554
N2	4,0413E-05	2,4771E-05	2,6733E-05	1,4955E-05	6,1172E-05	0,00011237	0,00014184	0,00015858	0,00016127	0,00015501	0,00014567
N3	4,2796E-05	2,5728E-05	2,6901E-05	1,5772E-05	6,0782E-05	0,00010897	0,00013618	0,00015202	0,00015464	0,00014871	0,00013989
N4	4,943E-05	3,0328E-05	3,3047E-05	1,8556E-05	7,7136E-05	0,00014104	0,00017741	0,00019764	0,00020022	0,00019196	0,00018018
N5	6,0741E-05	3,767E-05	4,2391E-05	2,3398E-05	0,00010415	0,00019032	0,00023792	0,00026397	0,00026585	0,00025398	0,00023777



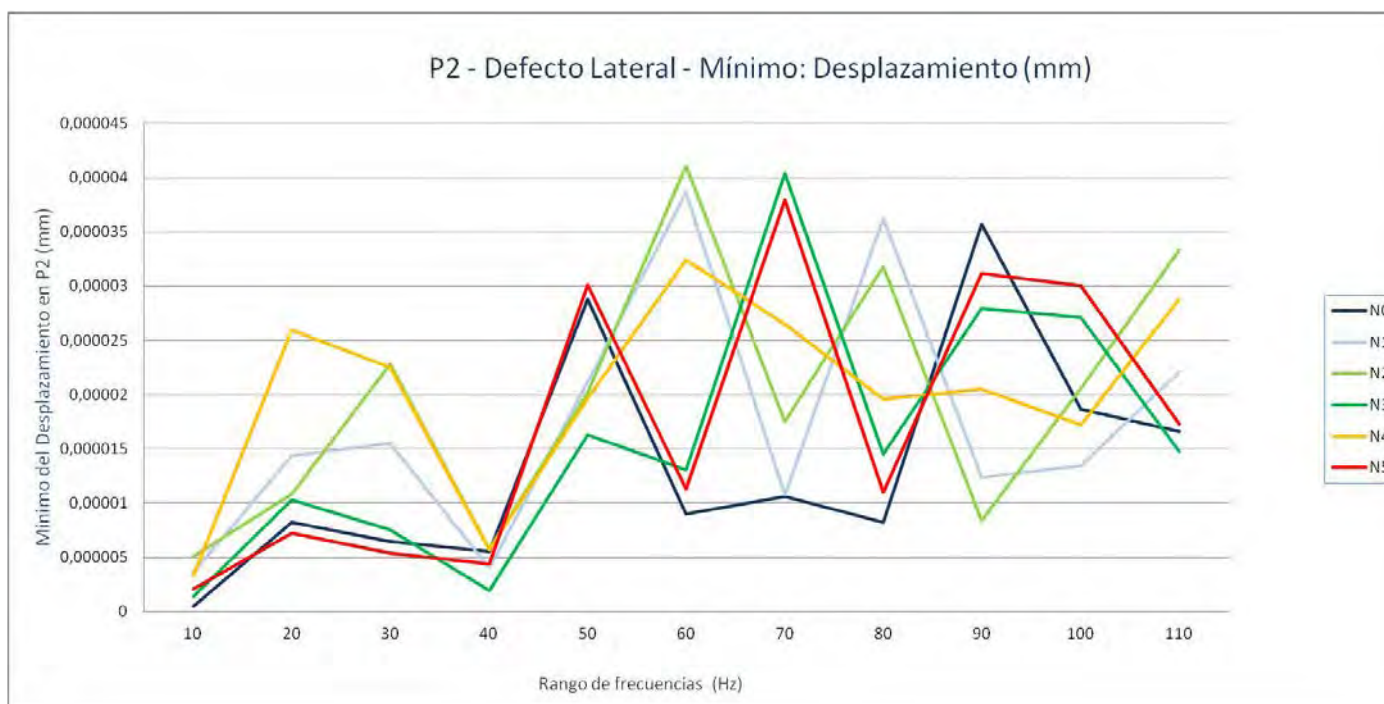
P2. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,006205863	0,004814063	0,00490565	0,003762252	0,007320663	0,009818152	0,010994534	0,011628313	0,011741906	0,011522134	0,011181361
N1	0,006047683	0,004642321	0,004639143	0,003651772	0,00685771	0,00905433	0,010079097	0,010655099	0,010772998	0,0105781	0,010273265
N2	0,006357159	0,004977067	0,005170384	0,003867203	0,007821224	0,010600698	0,011909533	0,012592741	0,012699085	0,012450479	0,012069319
N3	0,006541868	0,005072262	0,005186664	0,003971449	0,007796302	0,010438994	0,011669471	0,012329697	0,012435552	0,012194814	0,011827551
N4	0,007030674	0,005507093	0,005748654	0,004307642	0,008782737	0,011876094	0,013319571	0,0140586	0,014149932	0,013855048	0,013423023
N5	0,007793637	0,006137596	0,006510843	0,0048371	0,01020553	0,013795611	0,01542472	0,016247194	0,016305028	0,015936731	0,015419892



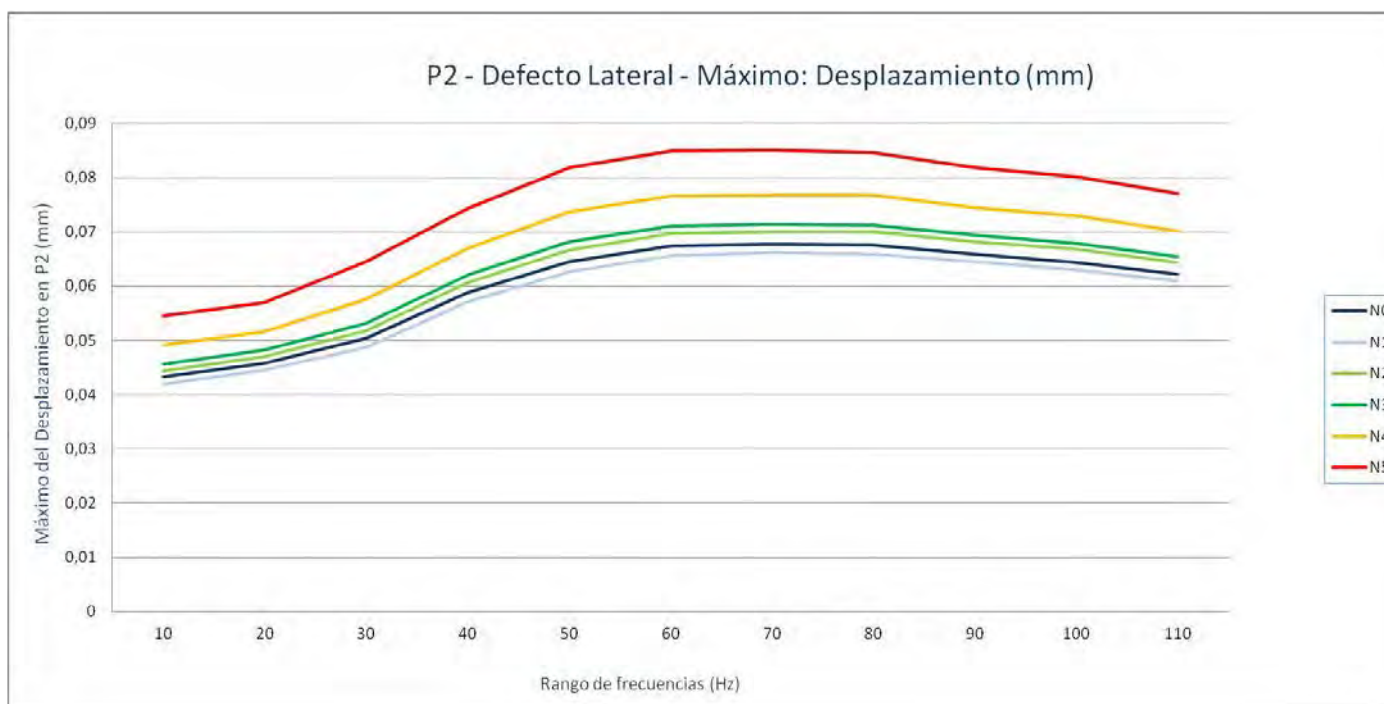
P2. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	4,7593E-07	8,2281E-06	6,476E-06	5,5318E-06	2,8781E-05	9,0128E-06	1,061E-05	8,2215E-06	3,5685E-05	1,8682E-05	1,662E-05
N1	3,5958E-06	1,4351E-05	1,5536E-05	4,0357E-06	2,1207E-05	3,859E-05	1,0773E-05	3,623E-05	1,2362E-05	1,3466E-05	2,2099E-05
N2	5,0677E-06	1,0849E-05	2,2774E-05	5,7366E-06	2,0192E-05	4,1071E-05	1,7503E-05	3,1803E-05	8,3872E-06	2,0618E-05	3,3308E-05
N3	1,4295E-06	1,0275E-05	7,5517E-06	1,9673E-06	1,6304E-05	1,3045E-05	4,037E-05	1,4556E-05	2,7949E-05	2,7081E-05	1,4731E-05
N4	3,3032E-06	2,5965E-05	2,2478E-05	5,6598E-06	1,9666E-05	3,2393E-05	2,65E-05	1,9613E-05	2,0516E-05	1,7209E-05	2,8767E-05
N5	2,0517E-06	7,2034E-06	5,3712E-06	4,4131E-06	3,0133E-05	1,1271E-05	3,7941E-05	1,1027E-05	3,1154E-05	3,0057E-05	1,7261E-05



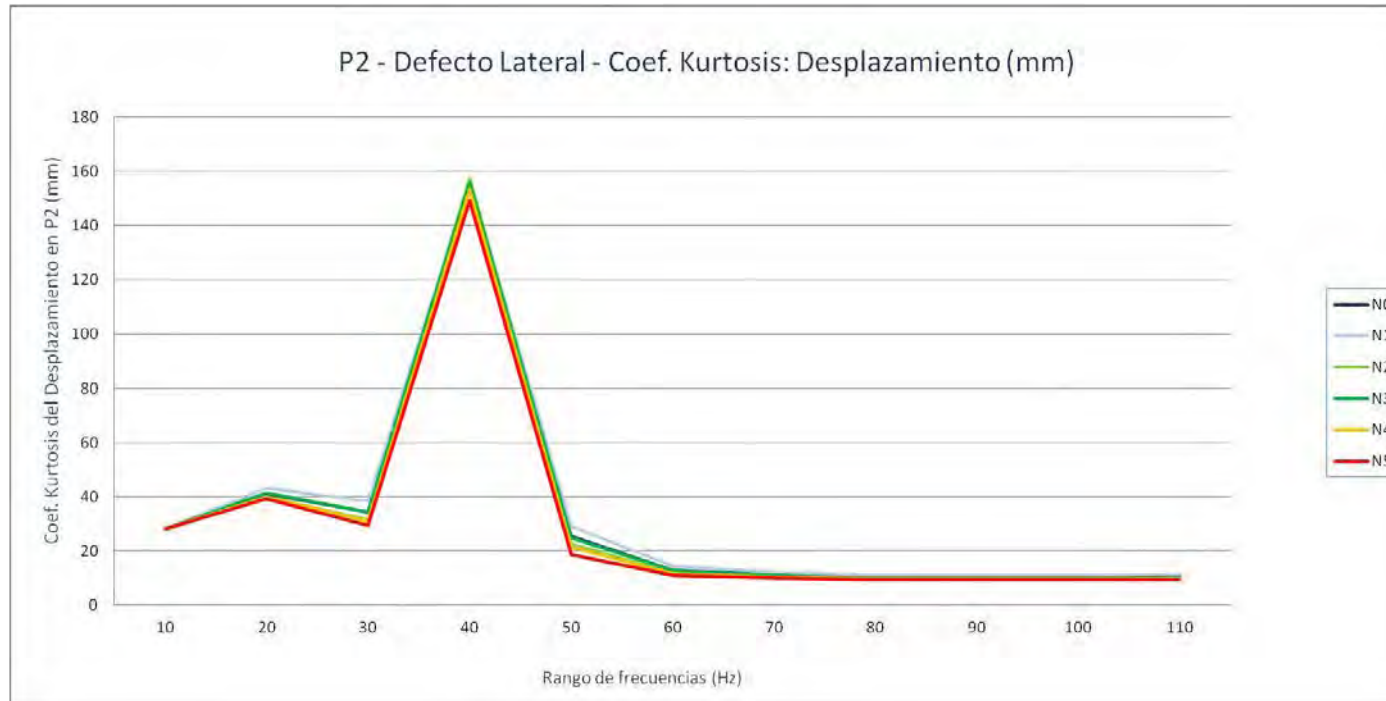
P2. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,04326752	0,04579986	0,05035158	0,05882758	0,06453194	0,06739935	0,06775563	0,06756221	0,06592413	0,0644076	0,06216264
N1	0,04193096	0,04457994	0,04875403	0,05720213	0,06266238	0,06562333	0,06618031	0,06591891	0,06454835	0,06301231	0,06090628
N2	0,04439752	0,04696995	0,0518204	0,06062416	0,06663227	0,06966834	0,0700079	0,07000155	0,06811975	0,06674742	0,0643535
N3	0,04557315	0,04817248	0,05319592	0,06206751	0,06811899	0,0711026	0,0714271	0,0712532	0,06946491	0,06789163	0,06550357
N4	0,04912698	0,05165169	0,05765199	0,06694028	0,07365004	0,07667462	0,0767492	0,07674895	0,07446705	0,07293855	0,07024284
N5	0,05447459	0,05694554	0,06451646	0,07433186	0,08188651	0,08488935	0,08501786	0,08466603	0,08182656	0,08016635	0,07707392



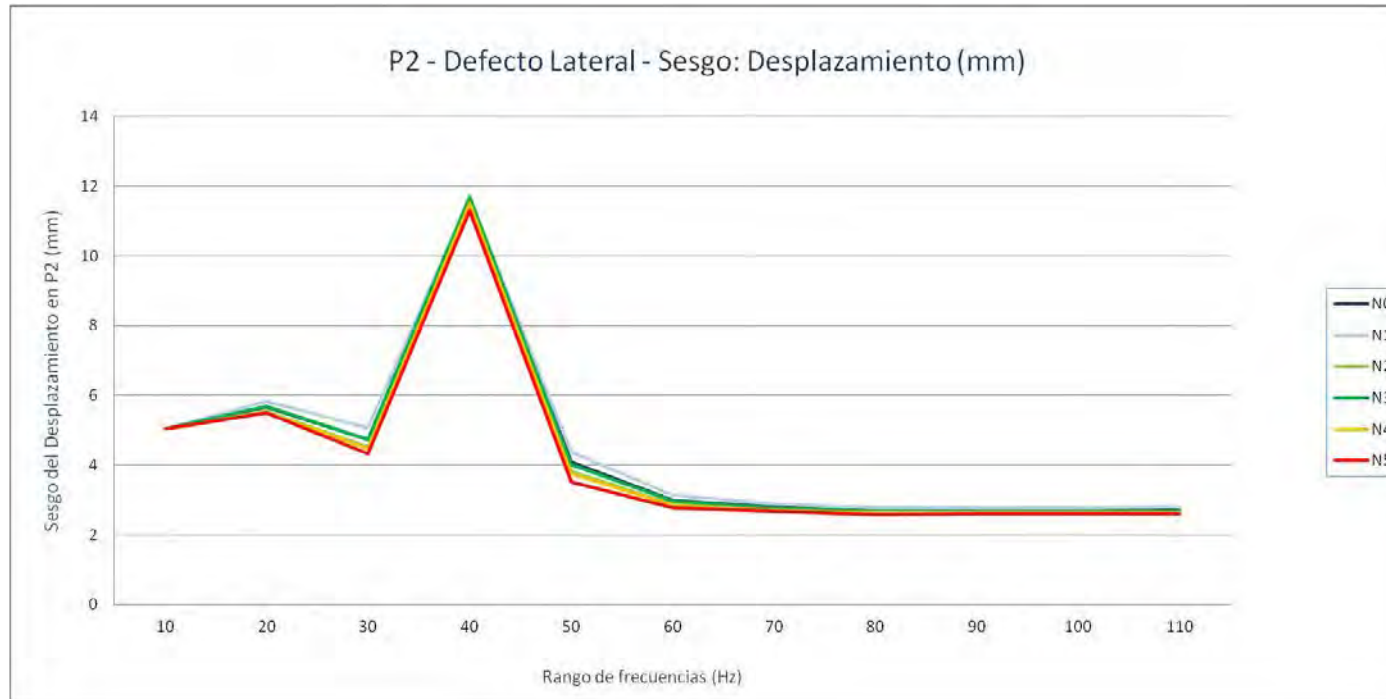
P2. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	28,1399685	41,2432872	34,4936222	155,329307	25,5002987	13,018167	11,2531139	10,3522579	10,3313783	10,3625688	10,419768
N1	28,208817	43,1298141	38,4978457	155,875633	29,0972661	14,5235135	12,2106719	11,0774696	11,0657052	11,140948	11,2582784
N2	28,0114638	40,0395332	31,5189091	157,453388	22,6133617	11,8929173	10,5022618	9,75298341	9,75312385	9,77369872	9,80748989
N3	28,1459168	41,5706041	34,4321373	156,082454	24,7395889	12,7801667	11,0892348	10,2142597	10,2066006	10,2348871	10,2915467
N4	28,101334	39,8156059	31,0761199	153,467162	21,4806945	11,7103252	10,4782341	9,78141386	9,7869523	9,79969257	9,81868105
N5	28,2053351	39,3787723	29,4233292	149,303405	18,799168	11,0214246	10,1511766	9,5615545	9,57689003	9,58631755	9,58844469



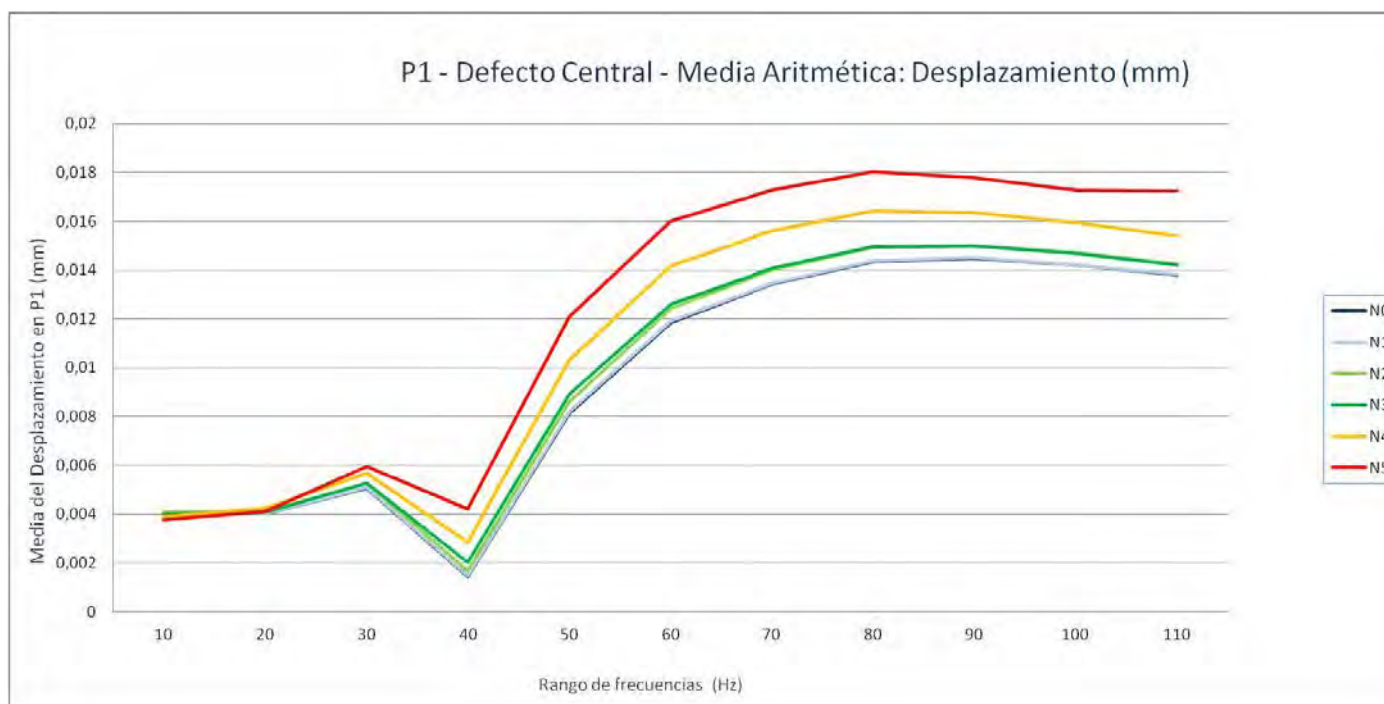
P2. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,03357942	5,65422774	4,74189494	11,6279457	4,08059417	2,98382604	2,79987878	2,69061173	2,69314444	2,69291721	2,69948609
N1	5,04780492	5,83183255	5,05918306	11,662958	4,37157704	3,12938413	2,8978012	2,76968876	2,77600646	2,77950488	2,79224261
N2	5,01510774	5,54819031	4,51033955	11,739065	3,83695931	2,86682963	2,71766449	2,62138569	2,62565002	2,6243834	2,62850767
N3	5,03531476	5,6893694	4,73856323	11,6739113	4,01718552	2,95770083	2,78050155	2,6735466	2,67750412	2,67689077	2,68349645
N4	5,02600758	5,52635199	4,46603423	11,5266035	3,74338656	2,84919281	2,71477198	2,62439465	2,62835318	2,62665509	2,62910638
N5	5,03885026	5,4916469	4,33539514	11,3117034	3,51138347	2,77396862	2,67583362	2,595404	2,59977554	2,59820783	2,5985695



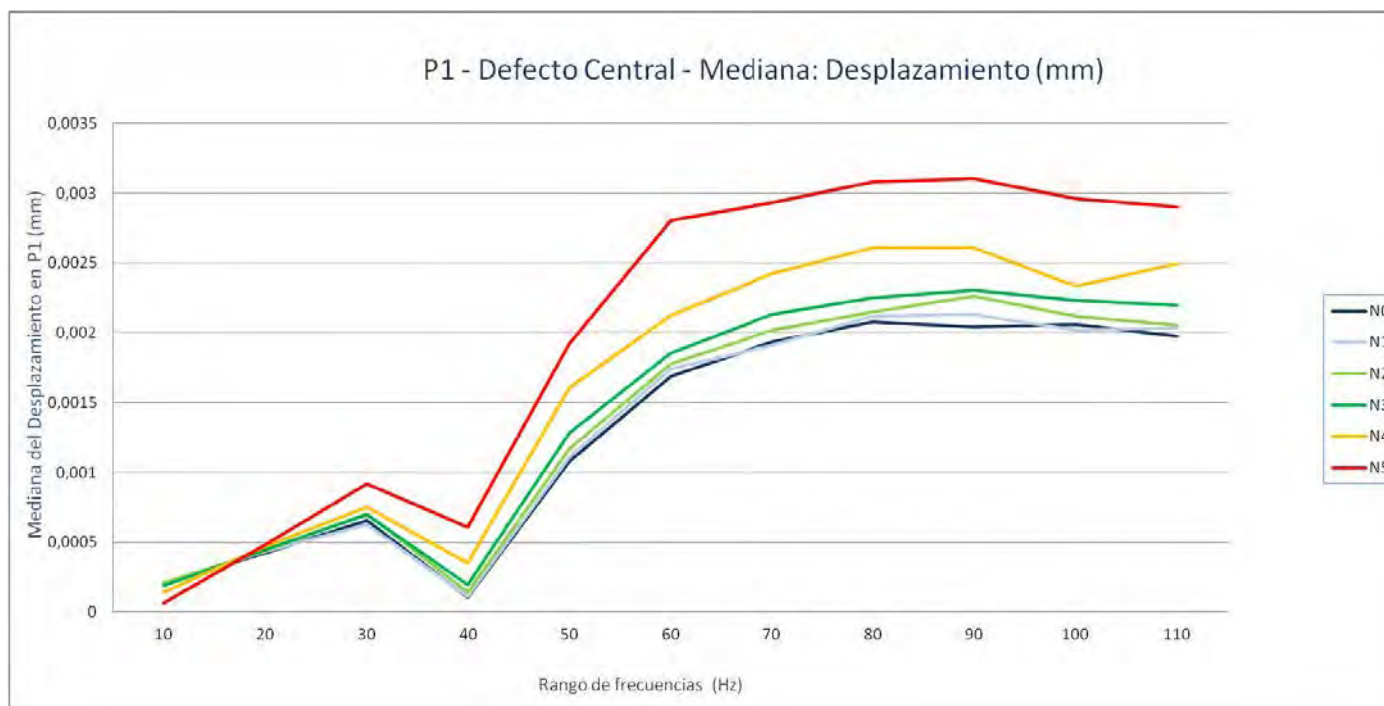
P1. Grieta central - Desplazamiento (mm): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00402443	0,00399645	0,00507884	0,00142872	0,00812455	0,01185972	0,01341882	0,01435145	0,01446413	0,01421033	0,01379631
N1	0,00400183	0,00399578	0,00508433	0,00148698	0,00819453	0,01191863	0,01346416	0,01438751	0,01450328	0,01421878	0,01382402
N2	0,00406484	0,00410489	0,00526402	0,00167167	0,00860583	0,0124198	0,01398719	0,01491504	0,01499569	0,01470446	0,01425013
N3	0,00400794	0,00408011	0,00527133	0,00202261	0,0089143	0,0126069	0,01407312	0,01494472	0,01498518	0,01466659	0,01419888
N4	0,00390794	0,0042369	0,00569271	0,00285832	0,01030251	0,01415909	0,0156078	0,01641511	0,01636044	0,015954	0,0154055
N5	0,00376851	0,00411029	0,00596026	0,00421923	0,01209717	0,01600455	0,01726564	0,01801509	0,01779606	0,01725911	0,01723556



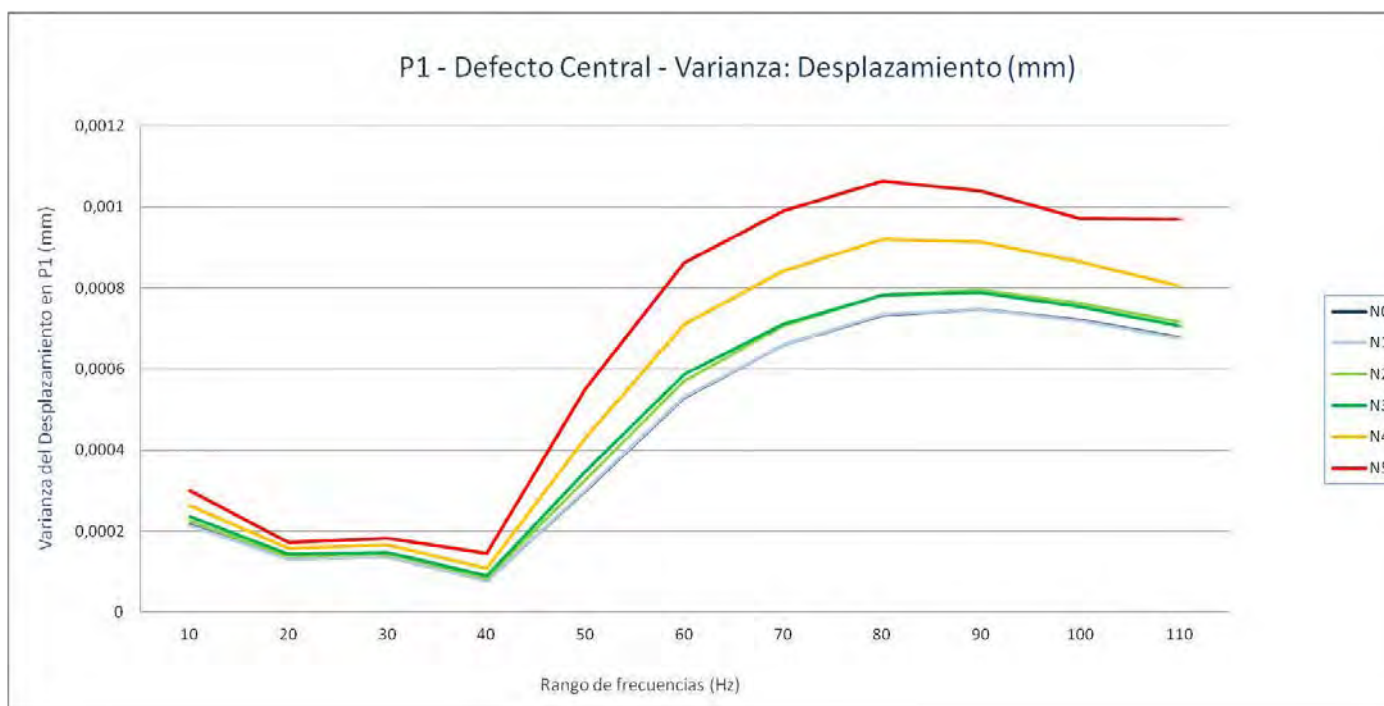
P1. Grieta central - Desplazamiento (mm): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,000206984	0,000424487	0,000655436	0,000104187	0,001077129	0,001688986	0,001931099	0,002078201	0,002040811	0,002057201	0,001972666
N1	0,00020398	0,000437952	0,000628186	0,000111666	0,001110519	0,001742875	0,00191224	0,002118248	0,002129163	0,002016464	0,002036517
N2	0,00020674	0,000442316	0,000704801	0,00014372	0,001169765	0,00178128	0,002018437	0,002149131	0,00225982	0,002116659	0,002052677
N3	0,000188996	0,000446235	0,000699316	0,00019453	0,001285517	0,001854822	0,002133014	0,002251217	0,002304789	0,002232553	0,002193897
N4	0,000143514	0,000472451	0,000752081	0,00035006	0,00160795	0,002124393	0,002421689	0,002607636	0,002609648	0,002336183	0,00249229
N5	6,3105E-05	0,000481887	0,000919183	0,000608576	0,001924387	0,002804116	0,002929902	0,003077761	0,00310555	0,002958321	0,002899315



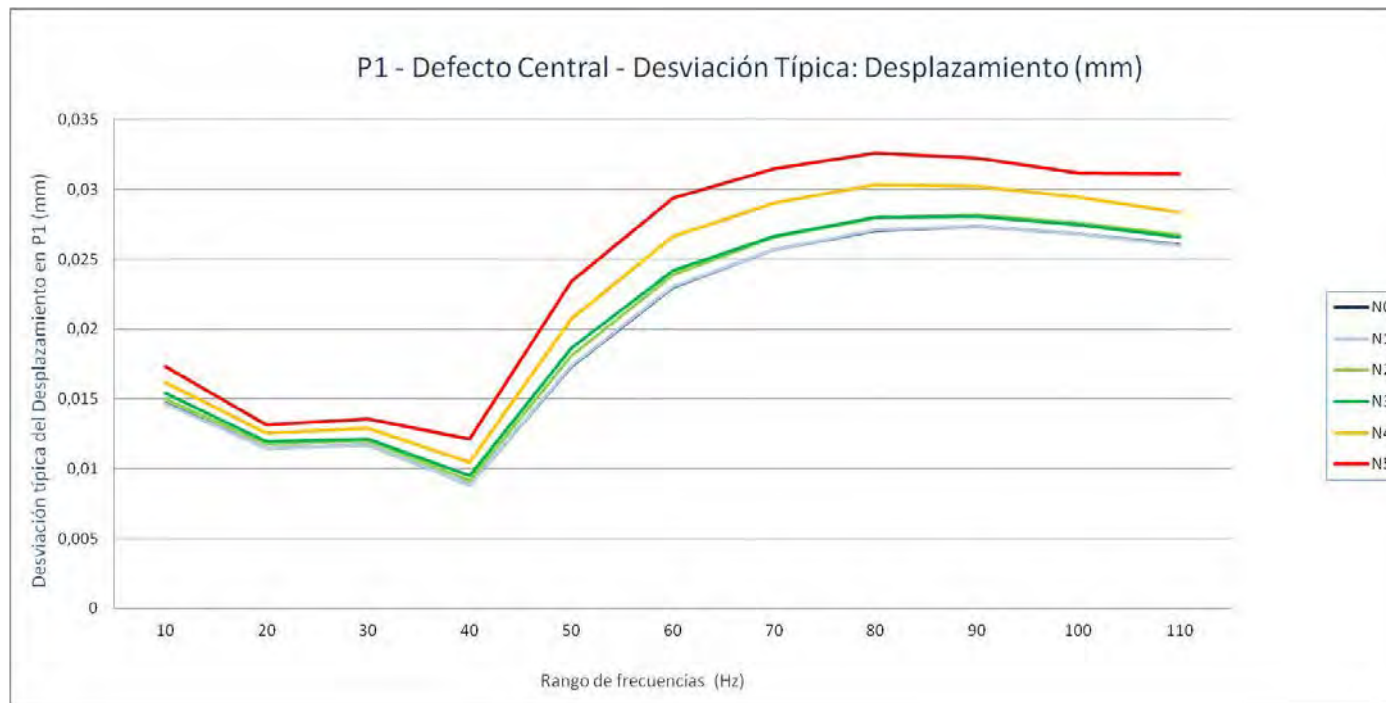
P1. Grieta central - Desplazamiento (mm): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00021578	0,00013233	0,00013705	7,8196E-05	0,00030025	0,00052957	0,00065845	0,00073324	0,00074703	0,00071994	0,00067786
N1	0,00021446	0,00013161	0,00013678	7,8212E-05	0,00030266	0,0005322	0,00066013	0,00073434	0,00074685	0,00071954	0,00067634
N2	0,00022492	0,00013823	0,00014464	8,3183E-05	0,00032697	0,00057189	0,00070581	0,00078279	0,00079388	0,00076255	0,00071668
N3	0,00023677	0,00014324	0,00014779	9,0428E-05	0,00034673	0,00058637	0,00070968	0,00078311	0,00078959	0,00075449	0,00070719
N4	0,00026249	0,00015748	0,00016623	0,00010953	0,00042978	0,00070967	0,00084218	0,00091949	0,00091452	0,00086524	0,00080589
N5	0,00029942	0,00017305	0,0001834	0,00014645	0,00054943	0,00086234	0,0009891	0,00106328	0,00104024	0,00097185	0,00096861



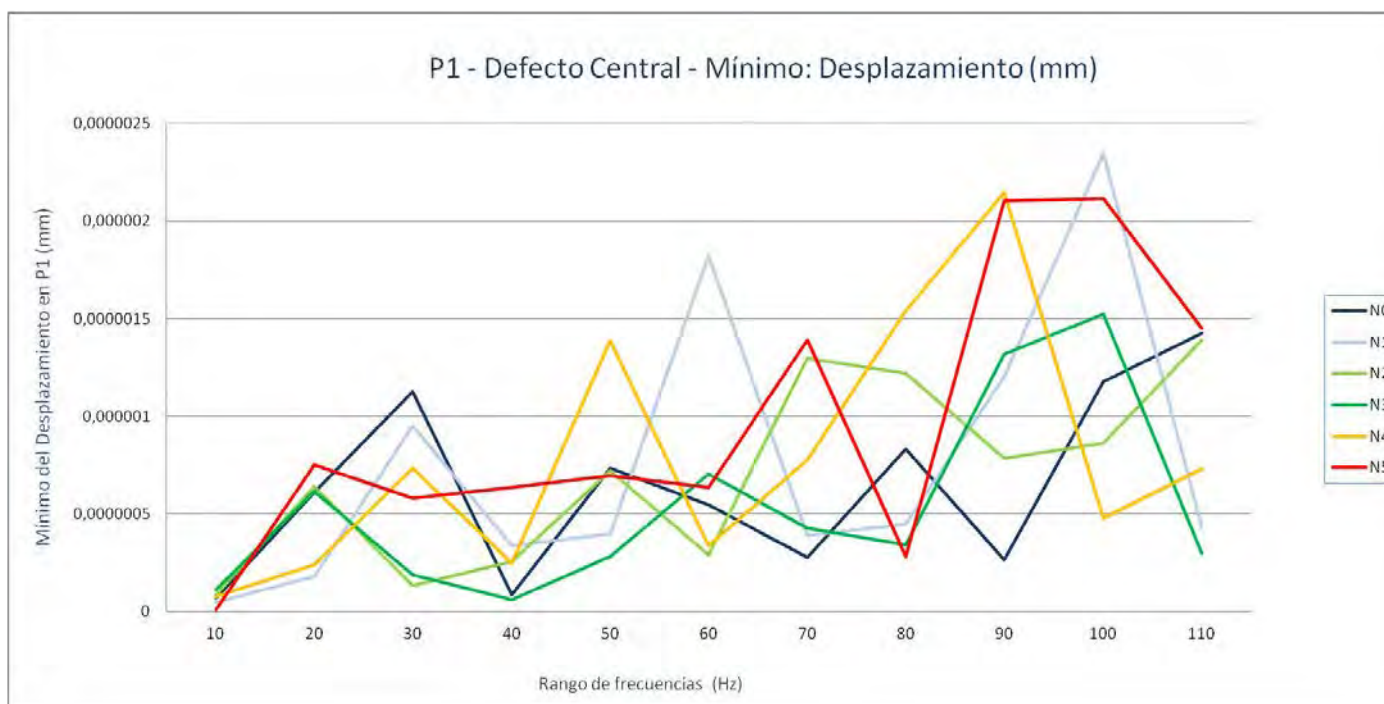
P1. Grieta central - Desplazamiento (mm): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,014689547	0,011503632	0,011706851	0,008842843	0,017327808	0,023012335	0,025660226	0,027078331	0,027331816	0,026831712	0,026035756
N1	0,01464449	0,011471957	0,01169538	0,008843748	0,017397223	0,023069505	0,025692936	0,027098631	0,027328565	0,026824306	0,026006622
N2	0,014997213	0,011757081	0,012026812	0,009120498	0,018082412	0,023914251	0,026567074	0,027978378	0,028175831	0,027614287	0,026770809
N3	0,01538742	0,011968412	0,012156997	0,009509364	0,018620662	0,024215163	0,026639863	0,027984097	0,028099588	0,027467923	0,02659312
N4	0,01620167	0,012549252	0,012893103	0,010465836	0,020731204	0,026639603	0,029020346	0,030323031	0,030240949	0,0294149	0,028388143
N5	0,017303862	0,013154809	0,01354266	0,012101667	0,0234399	0,029365586	0,031449913	0,03260793	0,032252678	0,031174492	0,031122484



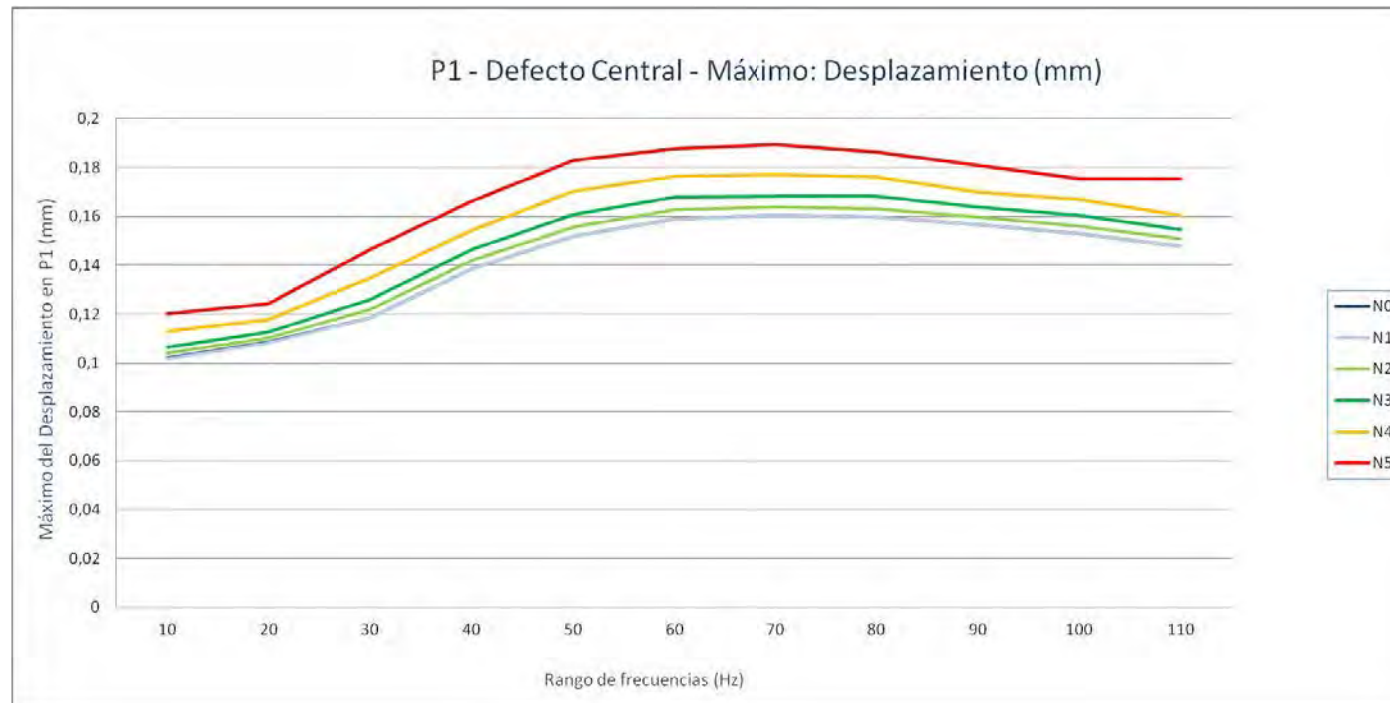
P1. Grieta central - Desplazamiento (mm): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	7,0276E-08	6,1106E-07	1,1281E-06	8,6168E-08	7,3587E-07	5,4582E-07	2,7901E-07	8,3404E-07	2,6543E-07	1,1768E-06	1,4249E-06
N1	4,8098E-08	1,8058E-07	9,5089E-07	3,3854E-07	3,9784E-07	1,8207E-06	3,8699E-07	4,4885E-07	1,205E-06	2,3444E-06	4,3172E-07
N2	8,7838E-08	6,3912E-07	1,3508E-07	2,5852E-07	7,2357E-07	2,9138E-07	1,2965E-06	1,2212E-06	7,8631E-07	8,6228E-07	1,3904E-06
N3	1,1222E-07	6,1378E-07	1,8794E-07	6,2009E-08	2,8129E-07	7,0416E-07	4,2626E-07	3,4191E-07	1,3171E-06	1,5249E-06	2,982E-07
N4	7,8228E-08	2,3991E-07	7,3253E-07	2,4856E-07	1,3859E-06	3,3623E-07	7,7668E-07	1,5393E-06	2,1479E-06	4,7679E-07	7,2959E-07
N5	8,6685E-09	7,5182E-07	5,8103E-07	6,3577E-07	6,9608E-07	6,3813E-07	1,3889E-06	2,8357E-07	2,1038E-06	2,117E-06	1,4492E-06



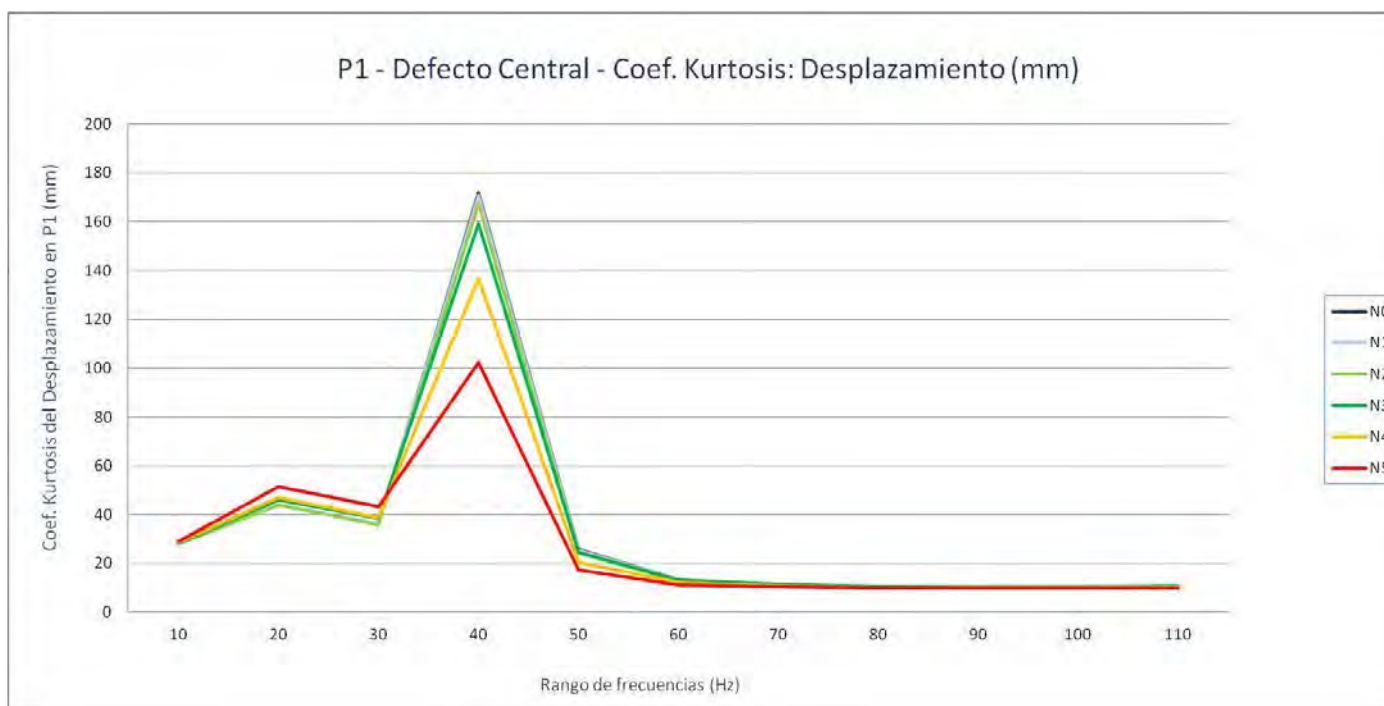
P1. Grieta central - Desplazamiento (mm): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,1020225	0,1084683	0,1186019	0,138687	0,15186509	0,1589907	0,1604722	0,1597387	0,15669	0,1528798	0,1479032
N1	0,1017131	0,1080586	0,1184832	0,13855711	0,1518355	0,15897401	0,1603822	0,15981001	0,1565633	0,1529139	0,147861
N2	0,1042642	0,1103857	0,1218839	0,1419563	0,1556785	0,1626658	0,1637837	0,1632695	0,15966059	0,1559777	0,1507145
N3	0,1066731	0,1125565	0,1260846	0,1463944	0,1608806	0,1677824	0,1684223	0,1682642	0,1638204	0,1603654	0,15467121
N4	0,1130784	0,117618	0,1349014	0,1544154	0,1703691	0,1764096	0,1770032	0,1760958	0,1699737	0,1668186	0,16035029
N5	0,1200345	0,1242599	0,1464427	0,16636731	0,1828216	0,1877808	0,1894301	0,18642759	0,18082491	0,17528319	0,1752657



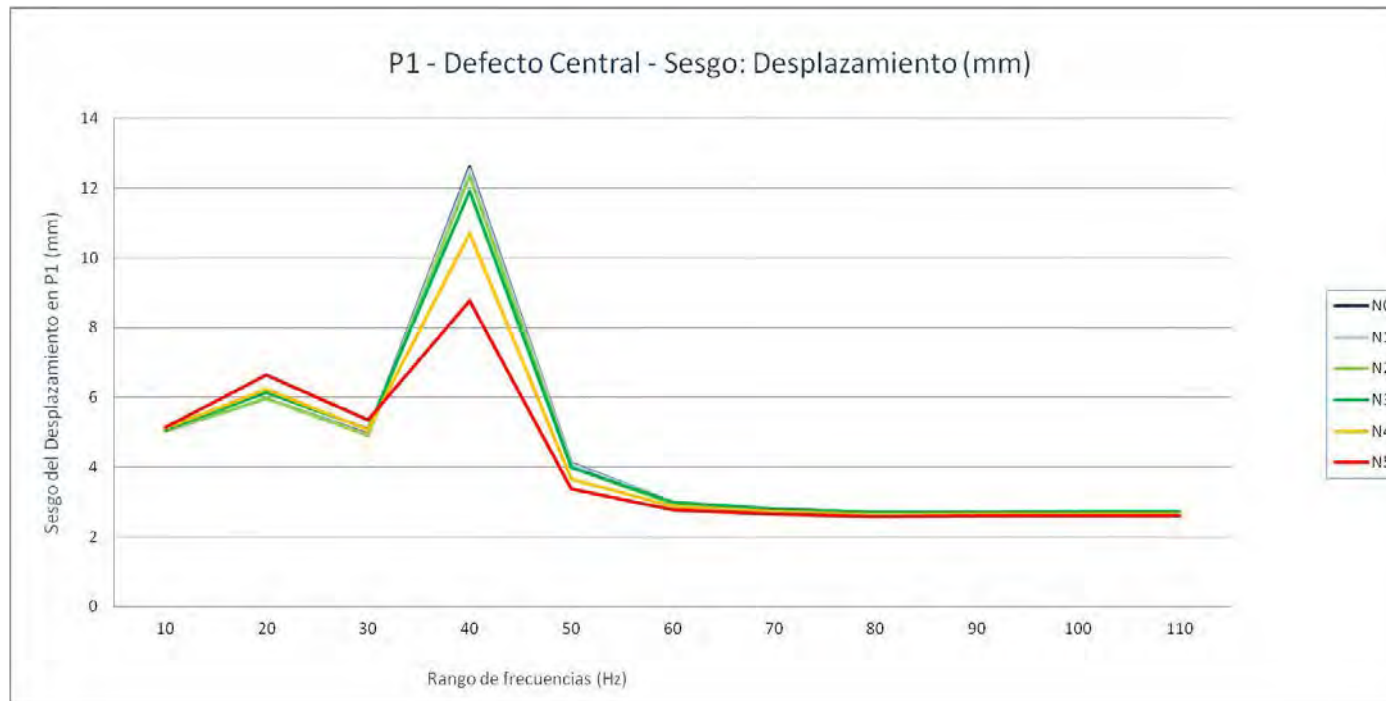
P1. Grieta central - Desplazamiento (mm): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	28,0492833	44,1189981	36,2490946	171,880119	25,9839356	13,2321747	11,3651596	10,4264394	10,4106402	10,4757497	10,5840547
N1	28,0651981	44,0975173	36,1133959	170,766664	25,5236312	13,1131158	11,2853963	10,3597939	10,3654138	10,4207096	10,5360534
N2	28,1398919	44,0799197	35,8060276	167,018163	24,3123561	12,8068919	11,1286363	10,2524706	10,2648254	10,3199162	10,4101799
N3	28,3622201	45,87943	38,5903518	159,223852	24,4174692	13,2360502	11,4680736	10,5336197	10,6186027	10,6829146	10,7870981
N4	28,6902997	47,0728722	38,737696	136,637519	20,549135	12,1199698	10,8019771	10,0343827	10,170793	10,2017937	10,2646452
N5	28,8090091	51,46572	43,2520216	102,185428	17,4731892	11,370391	10,3834493	9,7655427	9,95926451	9,95938357	9,94055472



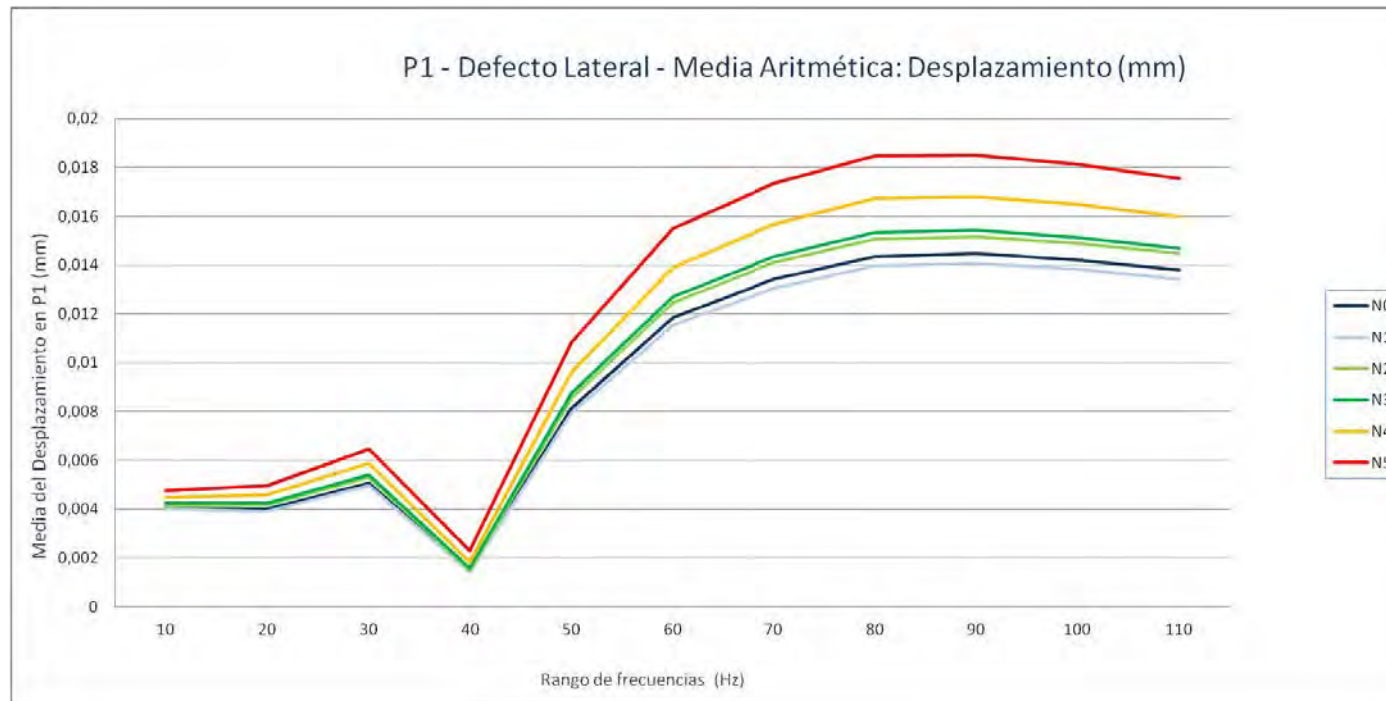
P1. Grieta central - Desplazamiento (mm): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,02736413	5,97220367	4,93996039	12,6070727	4,12190054	2,99761812	2,80503727	2,69292476	2,69730651	2,70186712	2,71467777
N1	5,02988265	5,96989059	4,92466339	12,5429432	4,08176154	2,98388982	2,79495332	2,6843218	2,69139755	2,6941046	2,70826371
N2	5,03963921	5,96718702	4,89306245	12,3461955	3,98067441	2,9517831	2,77647244	2,67070204	2,67745586	2,68078592	2,69170869
N3	5,07335318	6,13055933	5,09167102	11,9175216	3,98347486	2,98734744	2,80474059	2,69672754	2,71199353	2,71541918	2,72811271
N4	5,12002454	6,23798818	5,06492764	10,6985949	3,64685111	2,8630622	2,72322083	2,63254775	2,65035397	2,65036631	2,66036452
N5	5,14086772	6,6448526	5,35300243	8,77780891	3,35989415	2,76638843	2,66057686	2,58873362	2,61245338	2,60722351	2,60480932



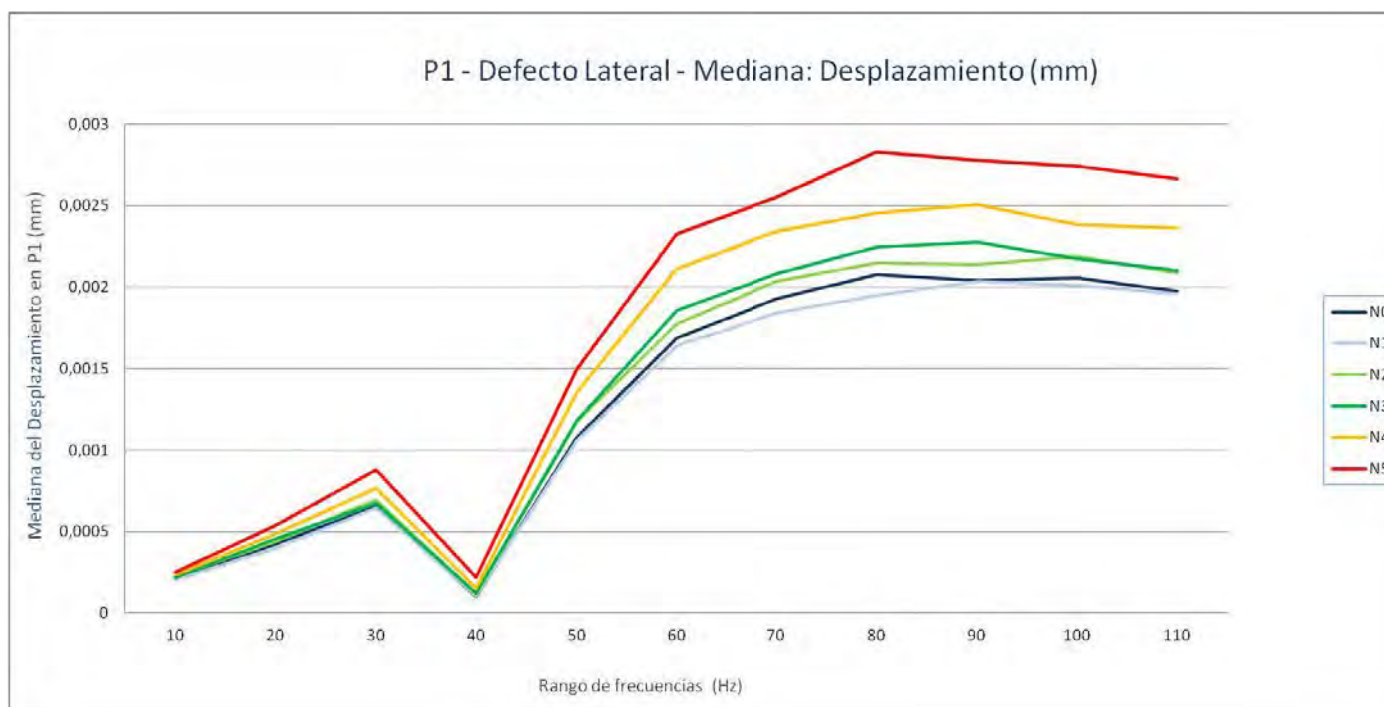
P1. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00402443	0,00399645	0,00507884	0,00142872	0,00812455	0,01185972	0,01341882	0,01435145	0,01446413	0,01421033	0,01379631
N1	0,00399364	0,00391684	0,00495643	0,00142767	0,00793079	0,01154906	0,01304972	0,01395417	0,01406338	0,01382954	0,01342003
N2	0,00414241	0,004161	0,0053151	0,00151635	0,00854458	0,01246181	0,01409471	0,0150585	0,01517488	0,01489585	0,01446561
N3	0,00424009	0,0042442	0,00540932	0,00159882	0,00873722	0,0126934	0,01433702	0,01531778	0,01542619	0,01512867	0,0146972
N4	0,00448533	0,00457186	0,00588391	0,00182729	0,00960176	0,01390335	0,01568433	0,01671707	0,01680437	0,01648947	0,01596529
N5	0,0047537	0,00496353	0,00647454	0,00228544	0,01082892	0,01548716	0,01735979	0,0184609	0,01851027	0,0181254	0,01755071



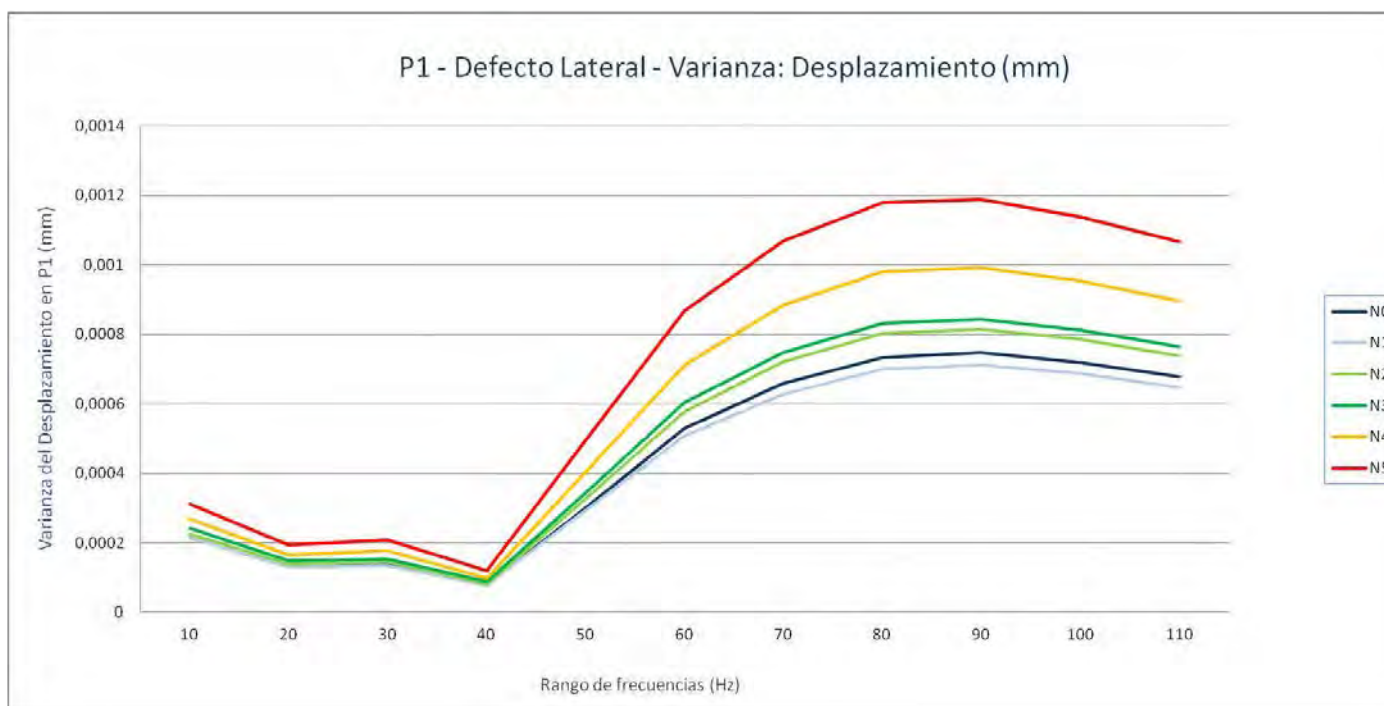
P1. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,000206984	0,000424487	0,000655436	0,000104187	0,001077129	0,001688986	0,001931099	0,002078201	0,002040811	0,002057201	0,001972666
N1	0,000202128	0,000400202	0,000646556	0,000105256	0,001056602	0,001640537	0,001842751	0,001949301	0,002037774	0,002011669	0,001959274
N2	0,000226357	0,000438468	0,00069578	0,000114645	0,001176845	0,001776604	0,002037576	0,002147631	0,002139336	0,002191283	0,002086319
N3	0,000221085	0,000454375	0,00067656	0,000120518	0,001183652	0,001855149	0,002080385	0,002244645	0,002277902	0,002174689	0,002105089
N4	0,00023703	0,000483663	0,000765296	0,000154184	0,001355617	0,002113181	0,002345307	0,00245799	0,002505193	0,002385534	0,002365588
N5	0,000247931	0,000535445	0,000878093	0,000217303	0,00149635	0,002327924	0,002551331	0,002830818	0,002775999	0,002743216	0,002667333



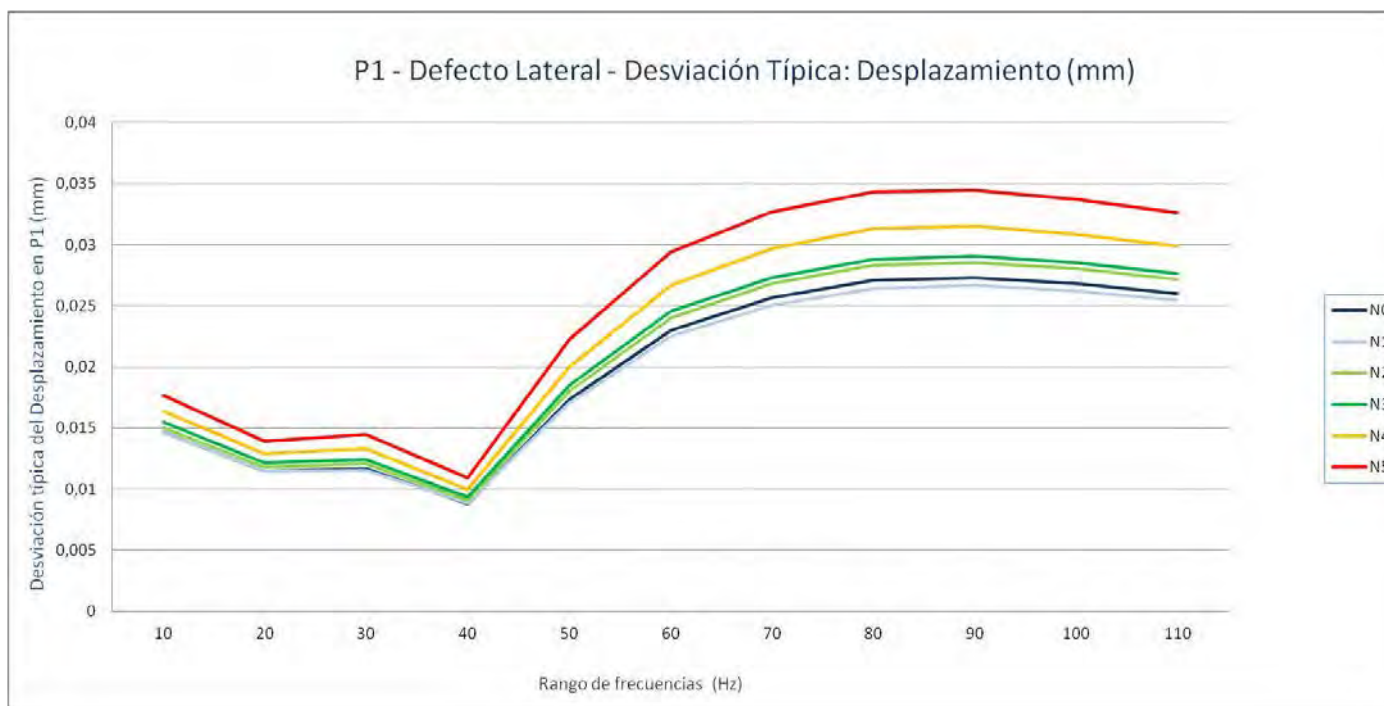
P1. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00021578	0,00013233	0,00013705	7,8196E-05	0,00030025	0,00052957	0,00065845	0,00073324	0,00074703	0,00071994	0,00067786
N1	0,00021631	0,00013142	0,00013382	7,8327E-05	0,0002919	0,00050739	0,0006272	0,00069874	0,00071269	0,00068654	0,00064696
N2	0,00022631	0,00013983	0,00014686	8,2502E-05	0,00032556	0,00057807	0,00072015	0,00080156	0,00081553	0,00078542	0,00073872
N3	0,00024096	0,00014803	0,00015424	8,8068E-05	0,00034256	0,0006026	0,0007471	0,00083082	0,0008446	0,00081305	0,00076423
N4	0,00026796	0,00016636	0,00017674	9,9291E-05	0,00040138	0,00071113	0,00088315	0,00098007	0,0009931	0,00095292	0,00089556
N5	0,00031194	0,00019409	0,00020934	0,0001189	0,00049394	0,00086744	0,00106844	0,00117981	0,00118929	0,00113759	0,00106572



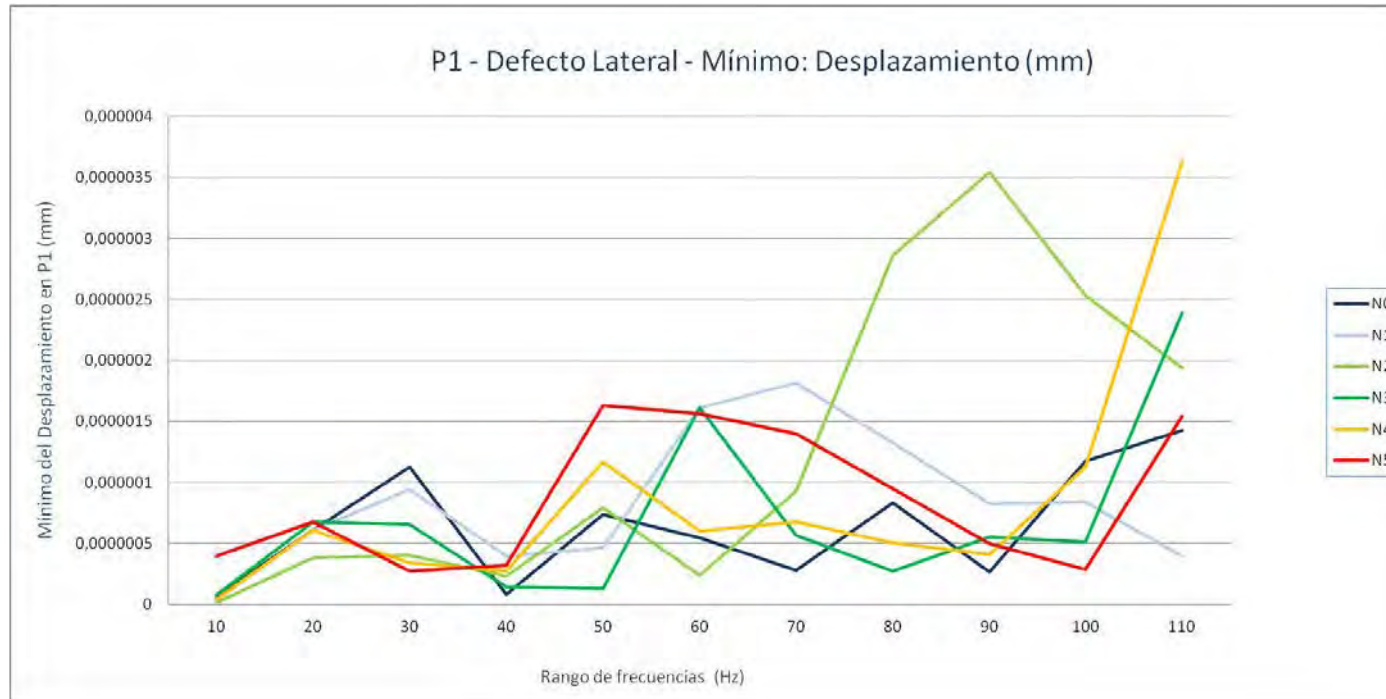
P1. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,014689547	0,011503632	0,011706851	0,008842843	0,017327808	0,023012335	0,025660226	0,027078331	0,027331816	0,026831712	0,026035756
N1	0,014707536	0,011463736	0,011568049	0,008850239	0,01708502	0,022525405	0,025043962	0,026433761	0,026696242	0,026201999	0,025435492
N2	0,015043571	0,011825142	0,012118574	0,009083064	0,018043254	0,024043088	0,026835567	0,028311795	0,028557471	0,028025257	0,027179325
N3	0,015522751	0,012166857	0,012419307	0,009384478	0,01850825	0,024547856	0,027333068	0,02882395	0,029062036	0,028514074	0,02764469
N4	0,016369404	0,012898032	0,013294249	0,009964464	0,020034399	0,026667005	0,029717921	0,031306086	0,031513442	0,030869364	0,029925855
N5	0,017661796	0,013931457	0,014468589	0,010903962	0,022224743	0,029452396	0,032686941	0,0343484	0,034486105	0,033728181	0,032645415



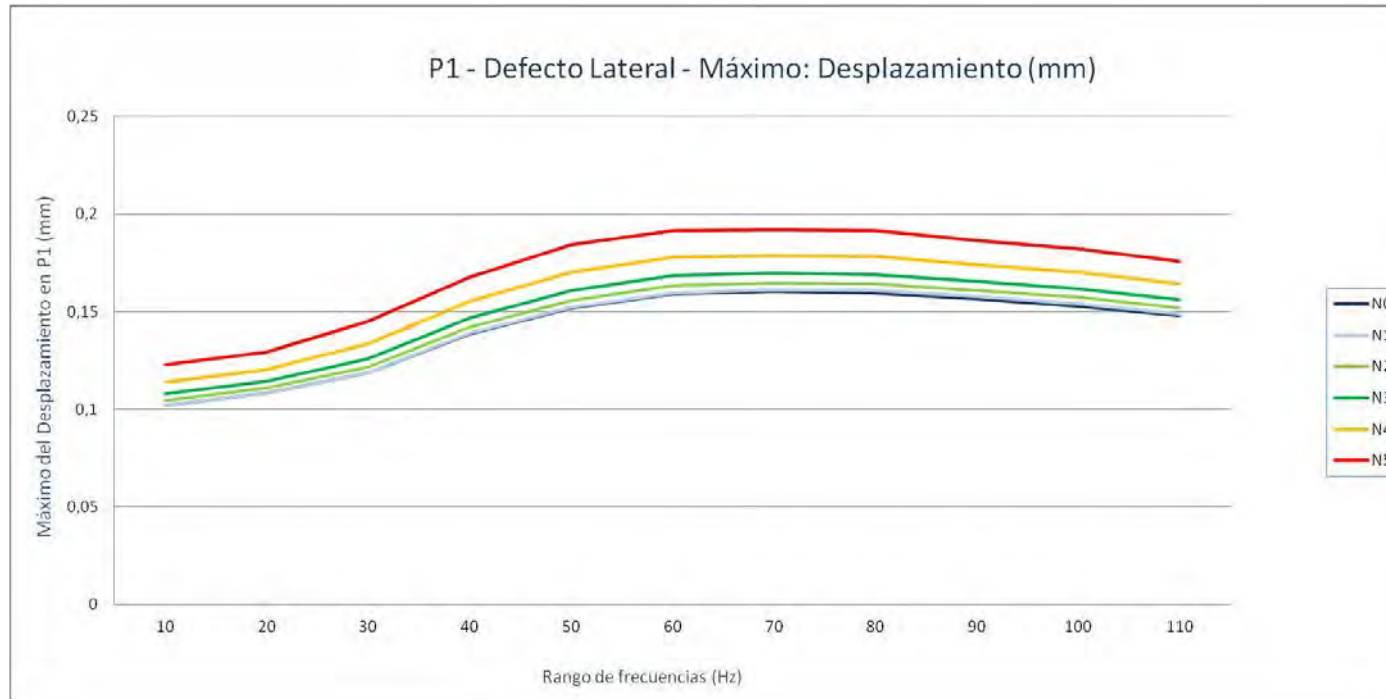
P1. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	7,0276E-08	6,1106E-07	1,1281E-06	8,6168E-08	7,3587E-07	5,4582E-07	2,7901E-07	8,3404E-07	2,6543E-07	1,1768E-06	1,4249E-06
N1	3,7444E-08	6,066E-07	9,4045E-07	3,9781E-07	4,6491E-07	1,609E-06	1,8177E-06	1,323E-06	8,2386E-07	8,4206E-07	3,9498E-07
N2	1,539E-08	3,855E-07	4,0265E-07	2,3627E-07	7,933E-07	2,3777E-07	9,3124E-07	2,857E-06	3,5393E-06	2,5327E-06	1,9375E-06
N3	7,6775E-08	6,7653E-07	6,5538E-07	1,4554E-07	1,3043E-07	1,6112E-06	5,6548E-07	2,7426E-07	5,5377E-07	5,105E-07	2,3881E-06
N4	4,3807E-08	6,0715E-07	3,41E-07	2,7124E-07	1,1684E-06	5,9901E-07	6,763E-07	5,0952E-07	4,109E-07	1,128E-06	3,6225E-06
N5	3,9873E-07	6,7848E-07	2,7537E-07	3,2396E-07	1,6299E-06	1,5664E-06	1,3975E-06	9,4647E-07	4,9897E-07	2,8462E-07	1,5459E-06



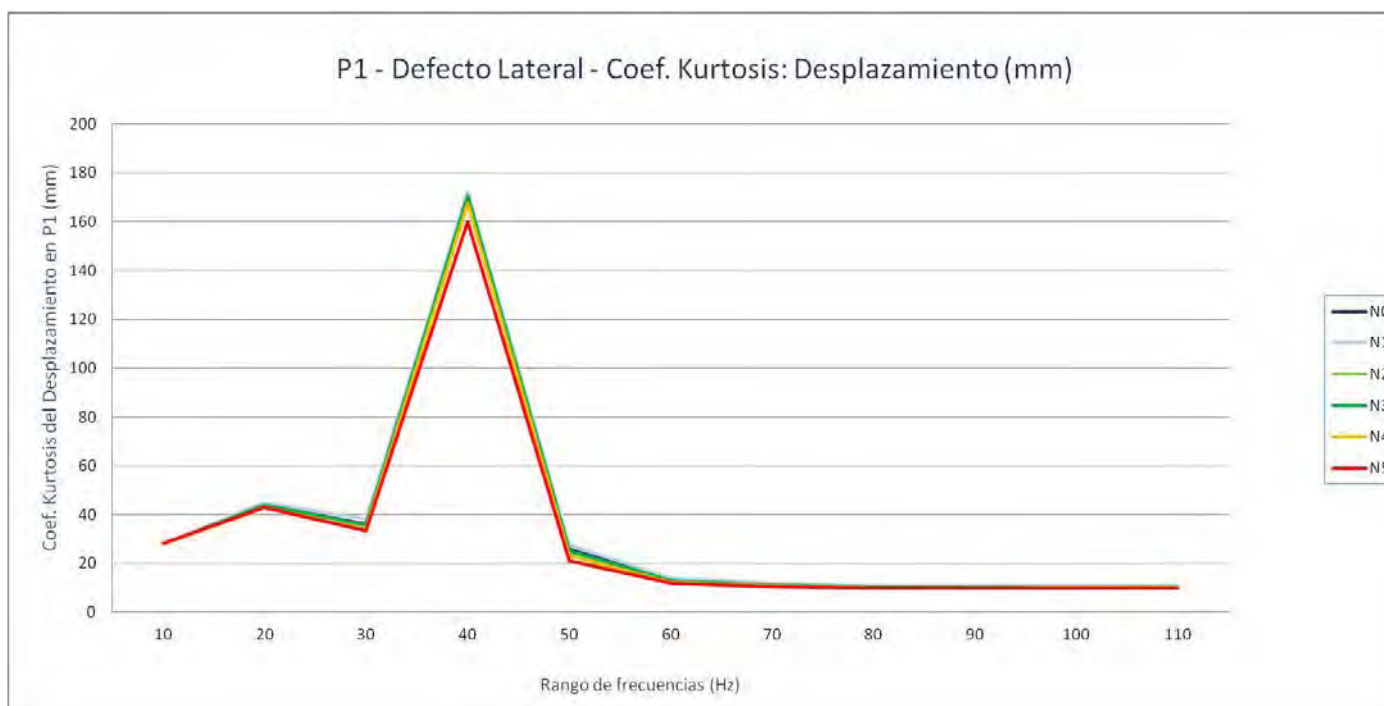
P1. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,1020225	0,1084683	0,1186019	0,138687	0,15186509	0,1589907	0,1604722	0,1597387	0,15669	0,1528798	0,1479032
N1	0,1019348	0,1085679	0,1186317	0,1391416	0,152393	0,15977059	0,1613865	0,1607538	0,15767249	0,1539582	0,14893711
N2	0,1045656	0,1110904	0,121672	0,1422918	0,15593369	0,1633144	0,16481531	0,16425221	0,1609482	0,1572302	0,1520519
N3	0,1078426	0,1144242	0,1258128	0,14693379	0,16104759	0,16843709	0,1697429	0,16912641	0,165545	0,16165251	0,1562499
N4	0,1138911	0,1203842	0,13341071	0,1551533	0,1703243	0,1777488	0,1786678	0,1782615	0,17396539	0,17006791	0,1641995
N5	0,1228827	0,12913691	0,1450329	0,1675951	0,1841256	0,1914783	0,1918322	0,191422	0,18628819	0,18208221	0,17558619



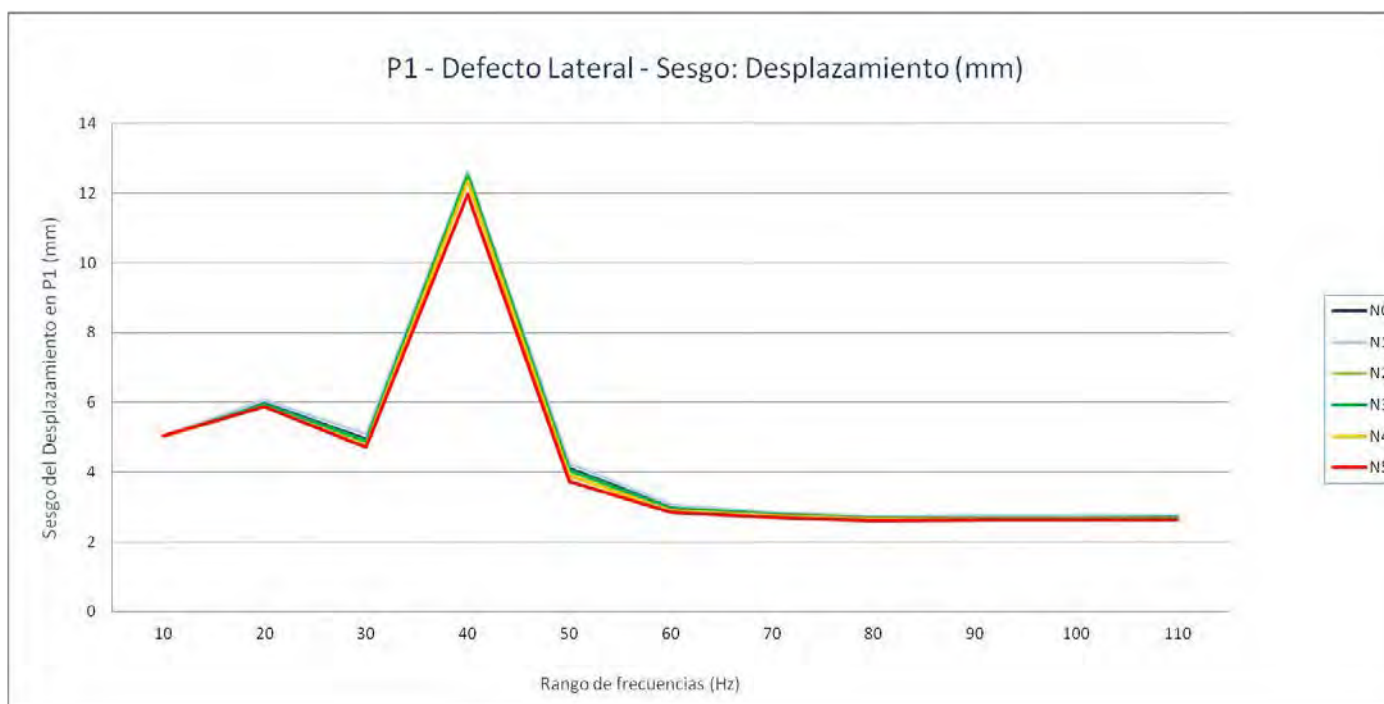
P1. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	28,0492833	44,1189981	36,2490946	171,880119	25,9839356	13,2321747	11,3651596	10,4264394	10,4106402	10,4757497	10,5840547
N1	28,0863801	45,0537884	38,1650087	172,378762	27,6072161	13,9470882	11,8348319	10,7860452	10,7888317	10,8789	11,0063162
N2	28,0176127	43,4108617	34,885067	170,914801	24,6615272	12,7042874	10,9963226	10,1252347	10,122664	10,1797664	10,2784154
N3	28,0730559	44,0113322	35,9312492	170,403538	25,2263387	13,017776	11,2328286	10,3231574	10,3243151	10,375186	10,4792458
N4	28,0765098	43,1114682	34,1970898	167,391446	23,2026447	12,327324	10,8084119	10,0066319	10,0169698	10,059115	10,1195571
N5	28,2179178	43,088995	33,5330777	159,848563	21,2770863	11,8185014	10,5275192	9,80155593	9,82133436	9,85023991	9,90452193



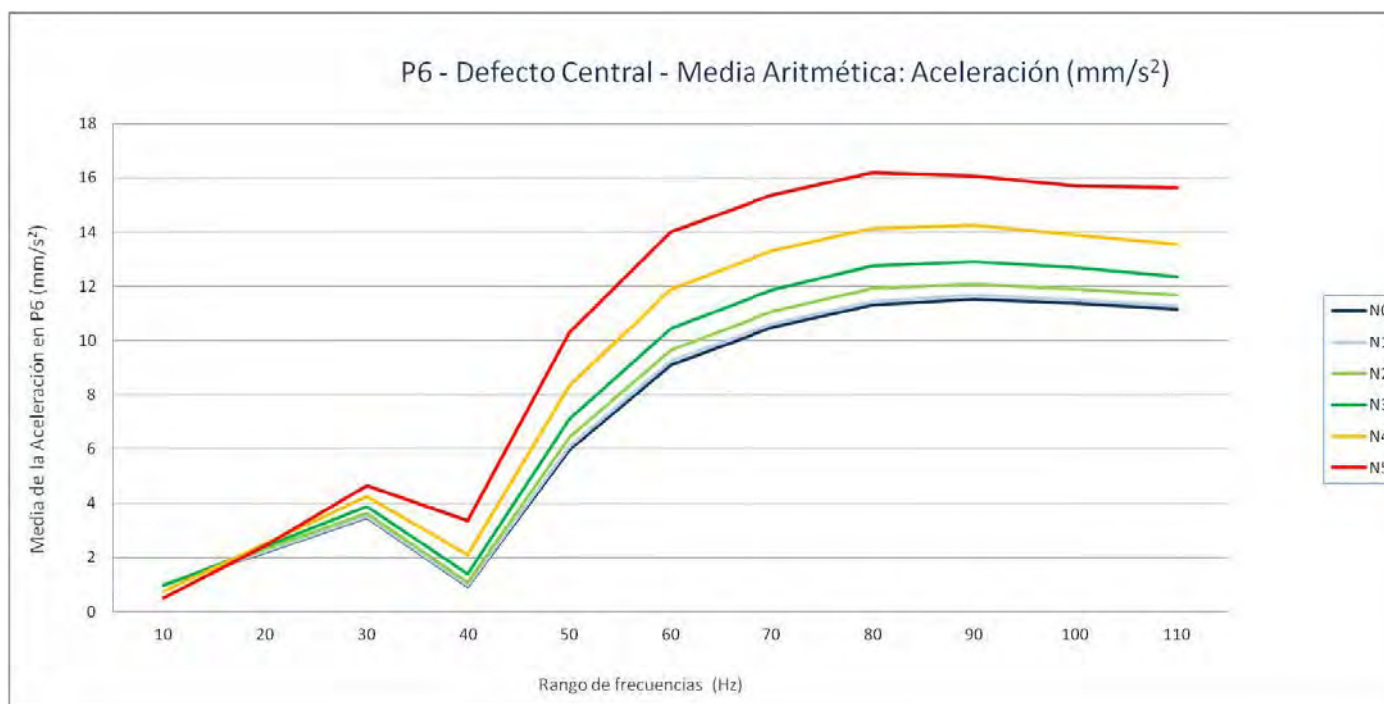
P1. Grieta lateral - Desplazamiento (mm): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	5,02736413	5,97220367	4,93996039	12,6070727	4,12190054	2,99761812	2,80503727	2,69292476	2,69730651	2,70186712	2,71467777
N1	5,03444187	6,05843518	5,09032823	12,6241315	4,25292141	3,06663557	2,85282475	2,73190178	2,73994333	2,74643468	2,76083645
N2	5,0225723	5,90682325	4,82787711	12,5533724	4,009633	2,94275502	2,7645519	2,65807332	2,6634822	2,66721739	2,67908474
N3	5,03071446	5,96195048	4,90854901	12,520906	4,05705709	2,97440121	2,78937654	2,68027816	2,68636836	2,68887156	2,70155245
N4	5,02966121	5,87861103	4,76471208	12,358967	3,88693267	2,90412754	2,74332516	2,64393333	2,64987805	2,65206295	2,65943943
N5	5,04874168	5,87585974	4,69926555	11,9575525	3,72091926	2,84840542	2,70909304	2,61760079	2,62350741	2,62445792	2,63180864



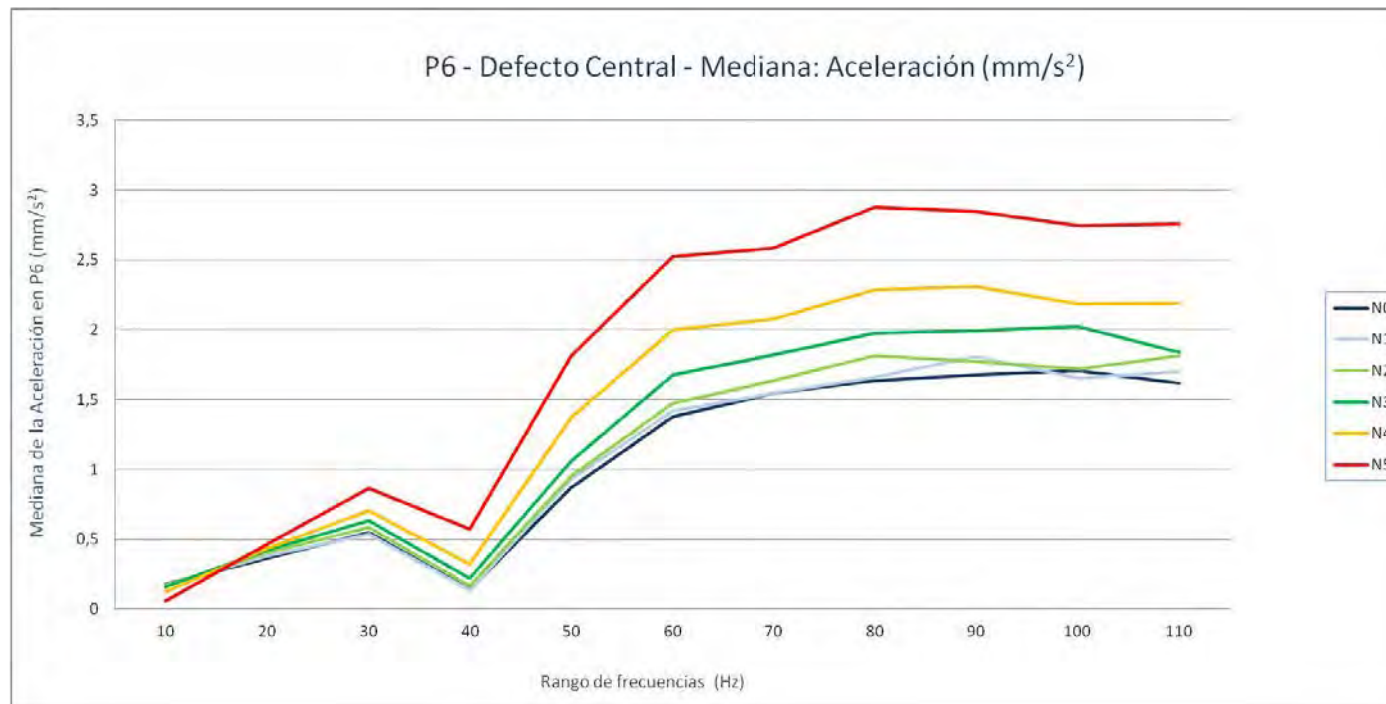
P6. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,99721375	2,20408757	3,47371692	0,92433211	5,95559763	9,09281637	10,4772283	11,3051907	11,5180346	11,3742716	11,1535046
N1	0,99835004	2,23275072	3,51408403	0,95411534	6,09128471	9,23845838	10,6155611	11,4405719	11,6921108	11,5099567	11,283704
N2	0,99865068	2,3057795	3,64881374	1,07791744	6,4269895	9,64971199	11,0598823	11,9278453	12,0930679	11,8903333	11,6714284
N3	0,95341071	2,41775031	3,89477916	1,39059834	7,09527107	10,4581079	11,8677446	12,7587576	12,9012049	12,6879674	12,3519519
N4	0,75374345	2,50719171	4,25395709	2,0842097	8,33188725	11,8868113	13,3083809	14,136406	14,24954	13,8966921	13,5419191
N5	0,49753659	2,44150615	4,63607581	3,36308765	10,2934926	14,0219311	15,3681749	16,1903751	16,0783073	15,6883384	15,6347158



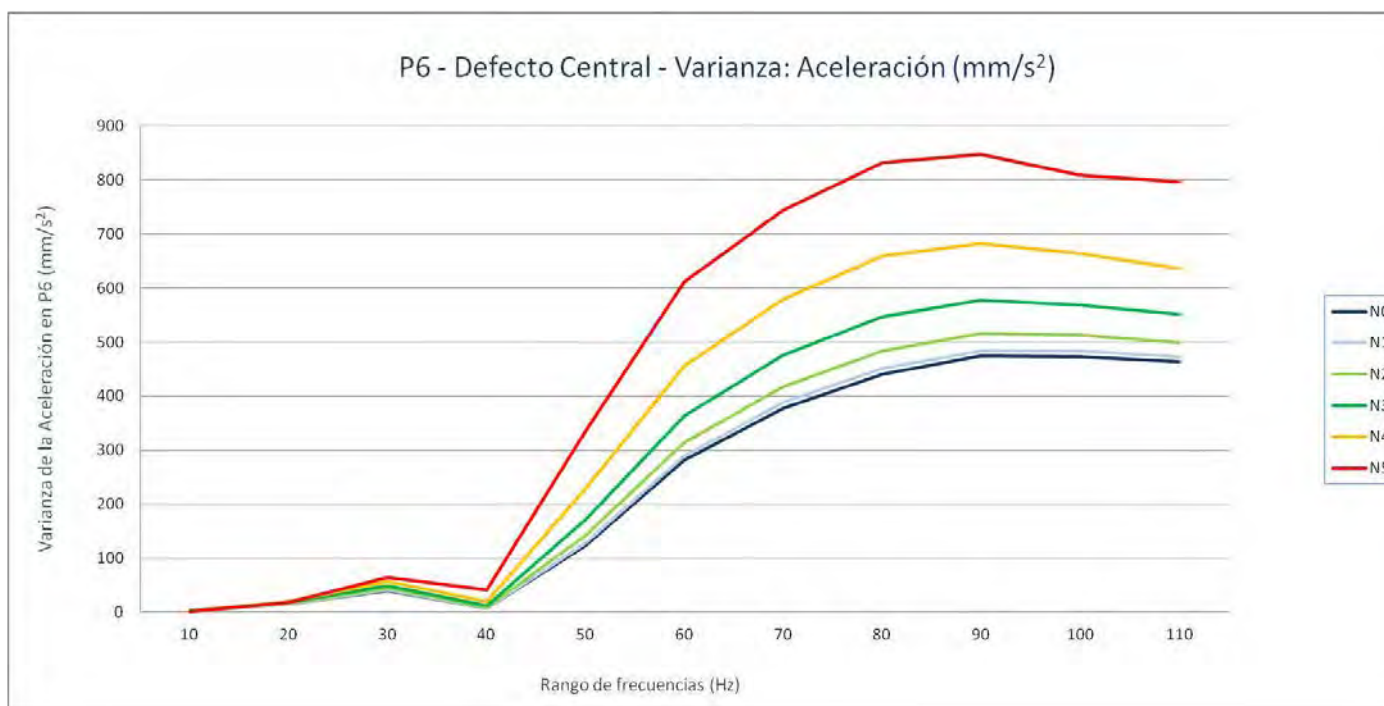
P6. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,176360146	0,364876648	0,548672638	0,141542847	0,870914978	1,379859985	1,543586548	1,63359198	1,674091003	1,706067017	1,614488037
N1	0,170525948	0,379106552	0,538561951	0,139466202	0,932941956	1,41753949	1,547539001	1,657396484	1,806089478	1,655820984	1,701674011
N2	0,166719696	0,402932953	0,583151764	0,166249603	0,95258783	1,474945496	1,635795959	1,816495056	1,769537964	1,716726501	1,812672974
N3	0,162527756	0,424979202	0,630287079	0,219455147	1,060112488	1,678108032	1,820180969	1,975079041	1,992849487	2,023096008	1,839438965
N4	0,121649002	0,436124298	0,701739319	0,321233185	1,372035034	1,998823975	2,077518066	2,285452881	2,30875708	2,185793945	2,191083984
N5	0,05864941	0,467883209	0,865123901	0,573448486	1,811833008	2,523935059	2,586245117	2,879846924	2,845566895	2,743051025	2,755285889



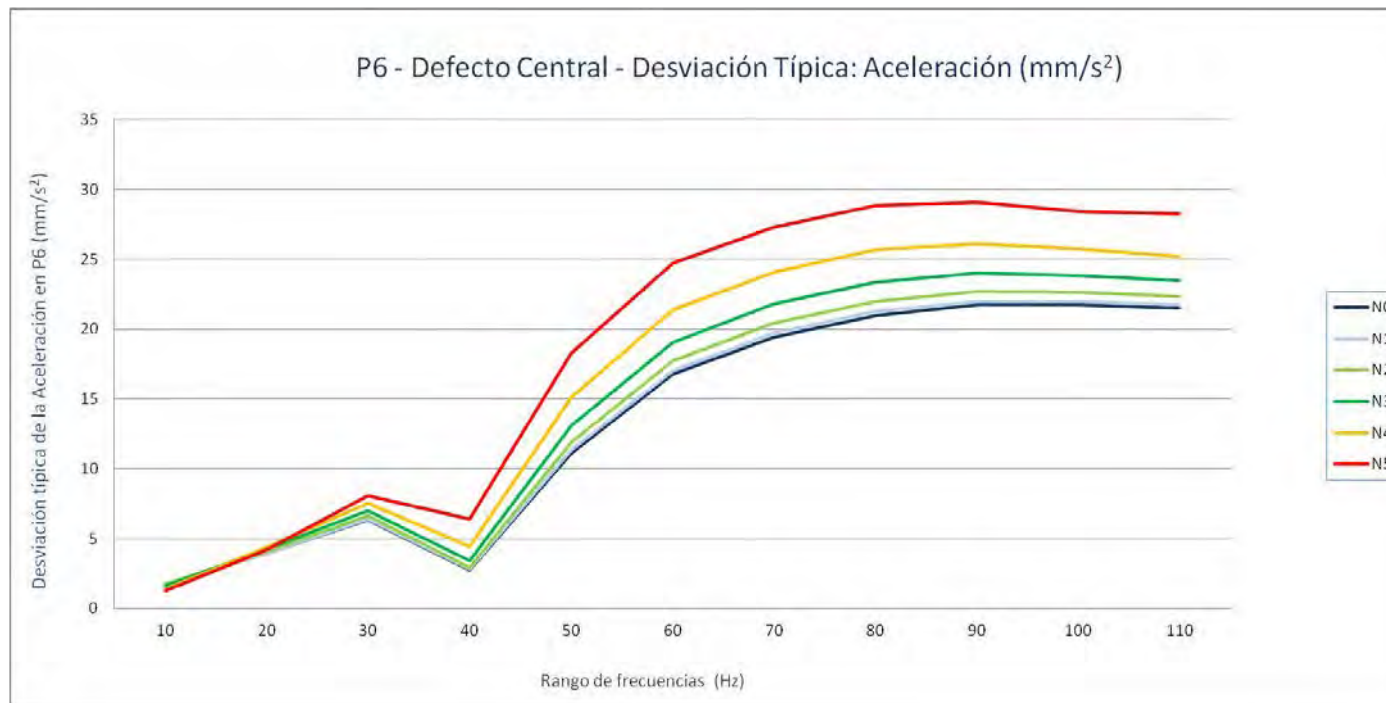
P6. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	2,94904524	15,525286	40,2167329	7,48090441	123,673683	282,030275	377,594042	440,373333	473,971121	473,532196	463,551477
N1	2,94120551	15,8201213	41,2424131	7,78591871	128,28539	290,279729	387,96853	451,773075	483,861309	483,242626	472,301998
N2	2,9517824	16,6965982	44,0292806	8,76773032	141,449797	314,16334	416,71902	482,946331	516,409524	513,640826	499,848883
N3	2,71408215	18,0262255	49,1876332	11,564054	170,688226	363,625899	475,235028	546,190173	577,079512	568,126688	551,170988
N4	1,95799987	19,2389474	57,058488	19,5596405	228,62462	456,02571	579,780069	658,640177	681,775384	663,795506	636,202818
N5	1,62055736	17,7293909	65,2232309	41,1421594	333,51935	610,809679	744,253258	831,663434	846,785053	808,519191	796,667897



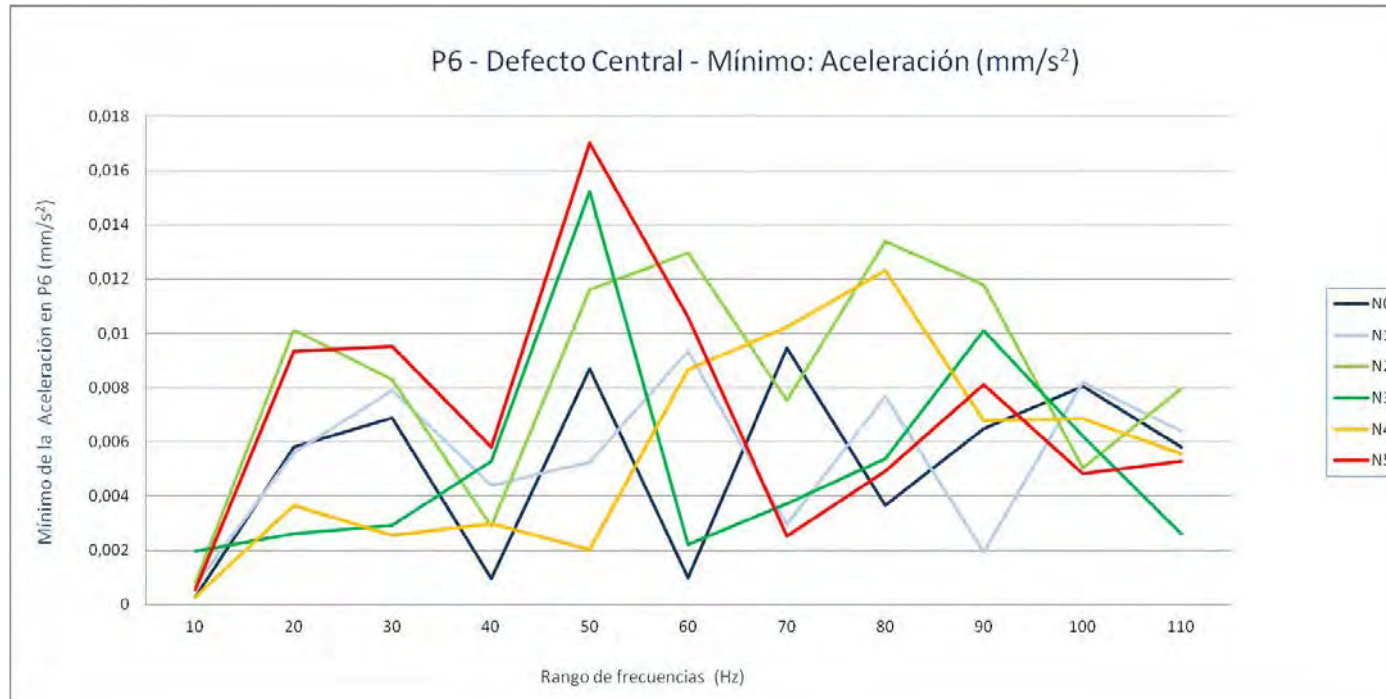
P6. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	1,717278441	3,940213948	6,341666415	2,735124204	11,12086703	16,79375702	19,43177917	20,98507406	21,77087781	21,76079493	21,53024563
N1	1,714994319	3,977451611	6,422025624	2,790325915	11,32631404	17,03759752	19,69691677	21,25495412	21,9968477	21,98278021	21,73251017
N2	1,718075203	4,086147113	6,635456319	2,961035346	11,89326689	17,72465344	20,41369688	21,97603992	22,72464575	22,66364548	22,35730044
N3	1,647447163	4,245730266	7,013389563	3,400596126	13,0647704	19,06897741	21,79988597	23,37071187	24,0224793	23,83540827	23,47703108
N4	1,399285485	4,386222453	7,553706904	4,42262823	15,12033795	21,35475848	24,07862265	25,66398599	26,11082886	25,76422919	25,22306123
N5	1,273011138	4,210628324	8,076090072	6,414215414	18,26251216	24,7145641	27,28100545	28,83857544	29,09957135	28,43447188	28,22530596



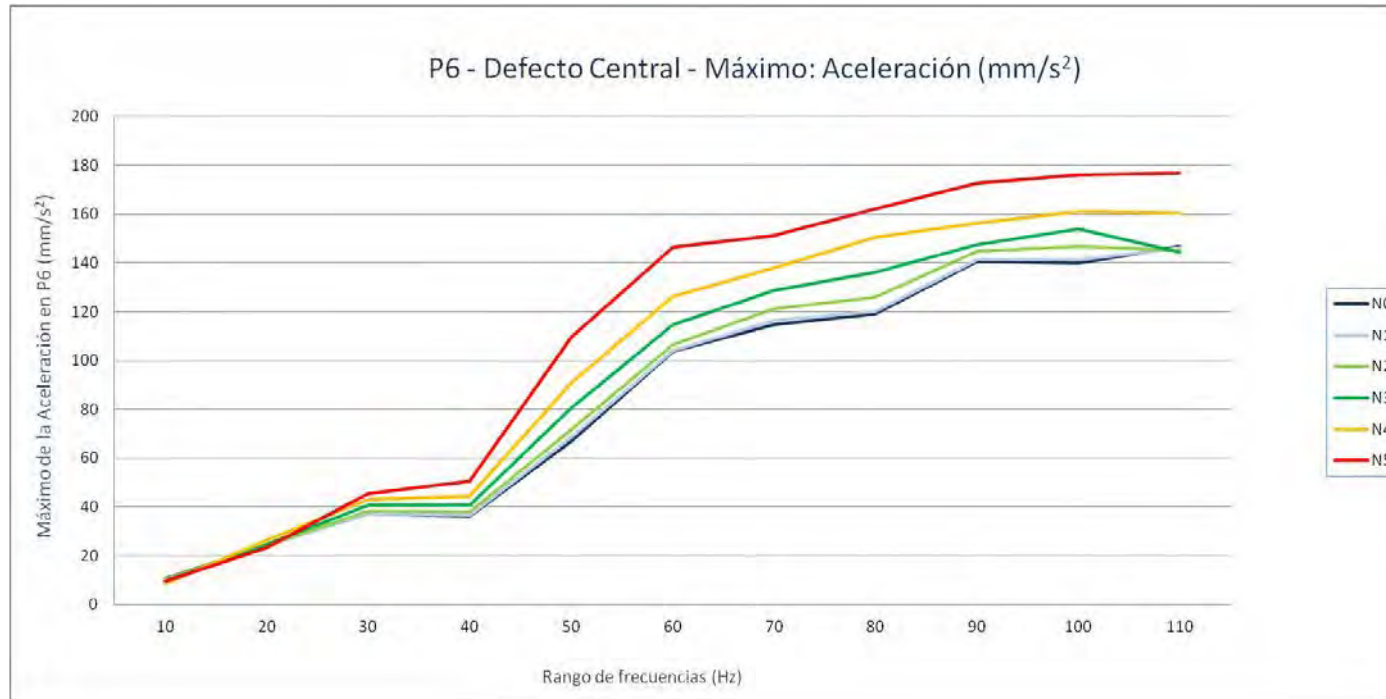
P6. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,0002861	0,00581281	0,00688538	0,00096	0,00869536	0,00098004	0,00946515	0,00364763	0,00648533	0,00806398	0,00580388
N1	0,00072365	0,00559147	0,007905	0,00439412	0,00524876	0,00934204	0,0029641	0,00766671	0,00194832	0,00819988	0,00637711
N2	0,00079646	0,01013964	0,00830063	0,00289538	0,0116242	0,01297608	0,00752318	0,01339491	0,01179781	0,00504852	0,00796982
N3	0,00198008	0,00262149	0,00291163	0,0052895	0,0152335	0,00221567	0,00371924	0,00536478	0,01009628	0,00619875	0,00260667
N4	0,00028141	0,00365424	0,00254235	0,00297693	0,00202901	0,00865905	0,0102365	0,01230935	0,00677826	0,00683823	0,00554845
N5	0,0005582	0,0093381	0,00953357	0,00580864	0,01701068	0,01059032	0,00251816	0,00490361	0,00810832	0,00481356	0,00528083



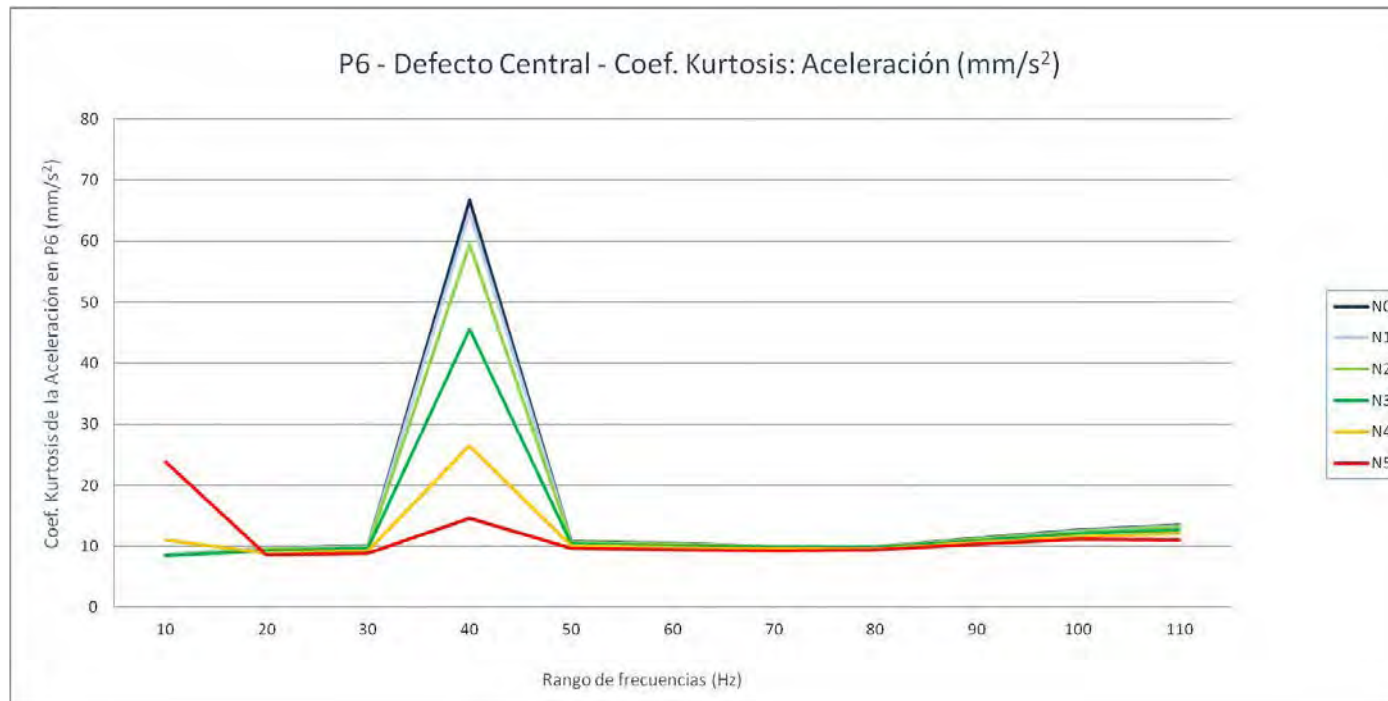
P6. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	10,5684902	24,2183809	37,3309609	36,1571211	67,0956016	103,650797	114,7565	119,000898	140,523297	139,817594	146,86
N1	10,44729	24,3189395	37,3913984	36,5137695	68,6066406	104,046898	116,379797	120,291	141,462594	141,3525	146,0325
N2	10,4673096	24,1240801	38,2763398	37,943	71,8548125	106,456297	121,025602	125,860602	144,707703	146,6205	144,978297
N3	9,67349316	24,7555508	40,8262109	40,5355898	80,7029922	114,547102	128,790797	136,118906	147,518594	153,844094	144,465
N4	8,43269922	26,3057793	42,9205586	44,5086406	90,7762969	126,2215	137,738203	150,421094	156,235	161,197297	160,321094
N5	9,58257031	23,4022109	45,3253086	50,6181992	109,602398	146,404797	151,2525	162,051703	172,682703	176,160594	176,922594



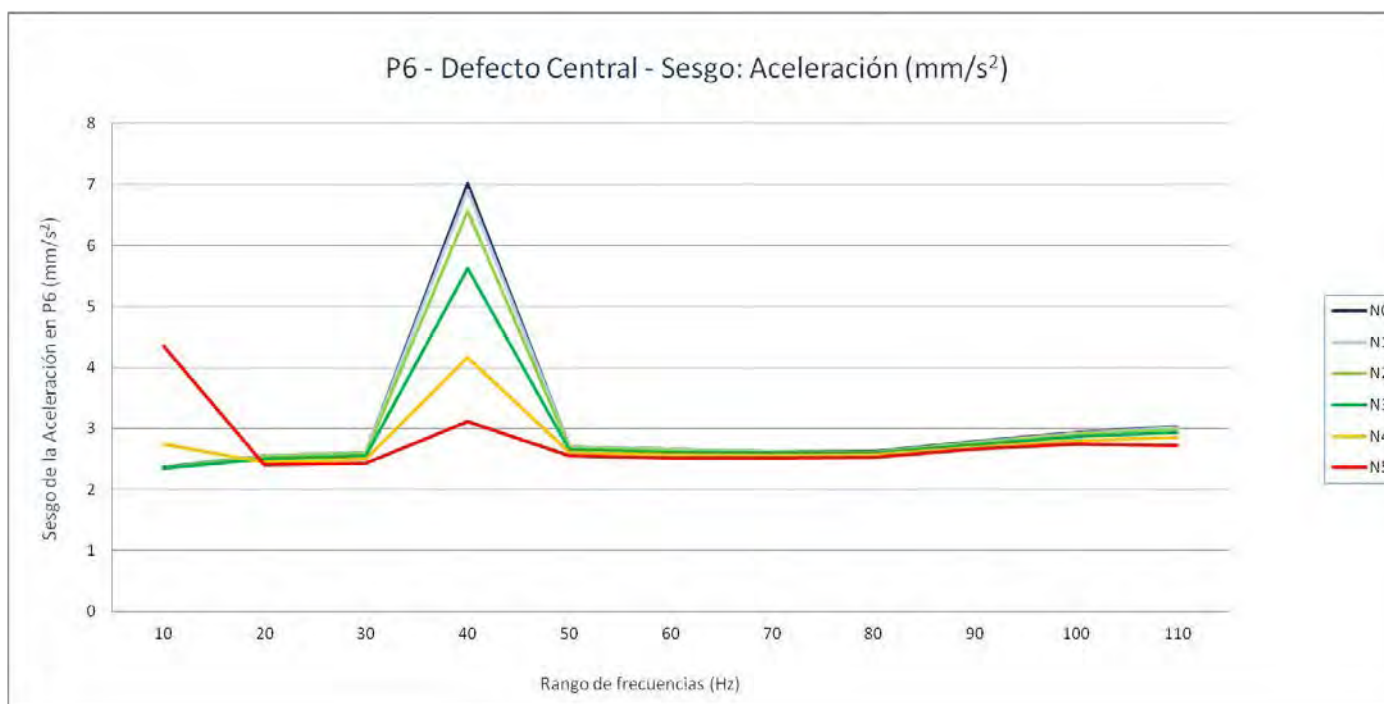
P6. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	8,61571605	9,72038319	10,052919	66,6799513	10,7341651	10,4931104	9,98176774	9,92761344	11,2705242	12,7084317	13,5109107
N1	8,54615361	9,70784617	9,99376922	64,7747556	10,697992	10,4238843	9,94870376	9,8986454	11,2243111	12,6037399	13,3727701
N2	8,50919151	9,56724645	9,86053058	59,5328146	10,6108478	10,3072789	9,89367205	9,87453485	11,1273161	12,4360954	13,1691869
N3	8,47148009	9,32090817	9,65305118	45,6339288	10,3910761	10,0863848	9,76883452	9,77180319	10,9524295	12,1436951	12,7238839
N4	10,9959795	8,87943599	9,31536002	26,4942294	10,0723012	9,75717716	9,57431714	9,56554002	10,6561768	11,6165692	12,0987055
N5	23,8454156	8,64516417	8,84620287	14,6412352	9,73535891	9,39355858	9,3145591	9,39687995	10,3716966	11,2045875	11,0647969



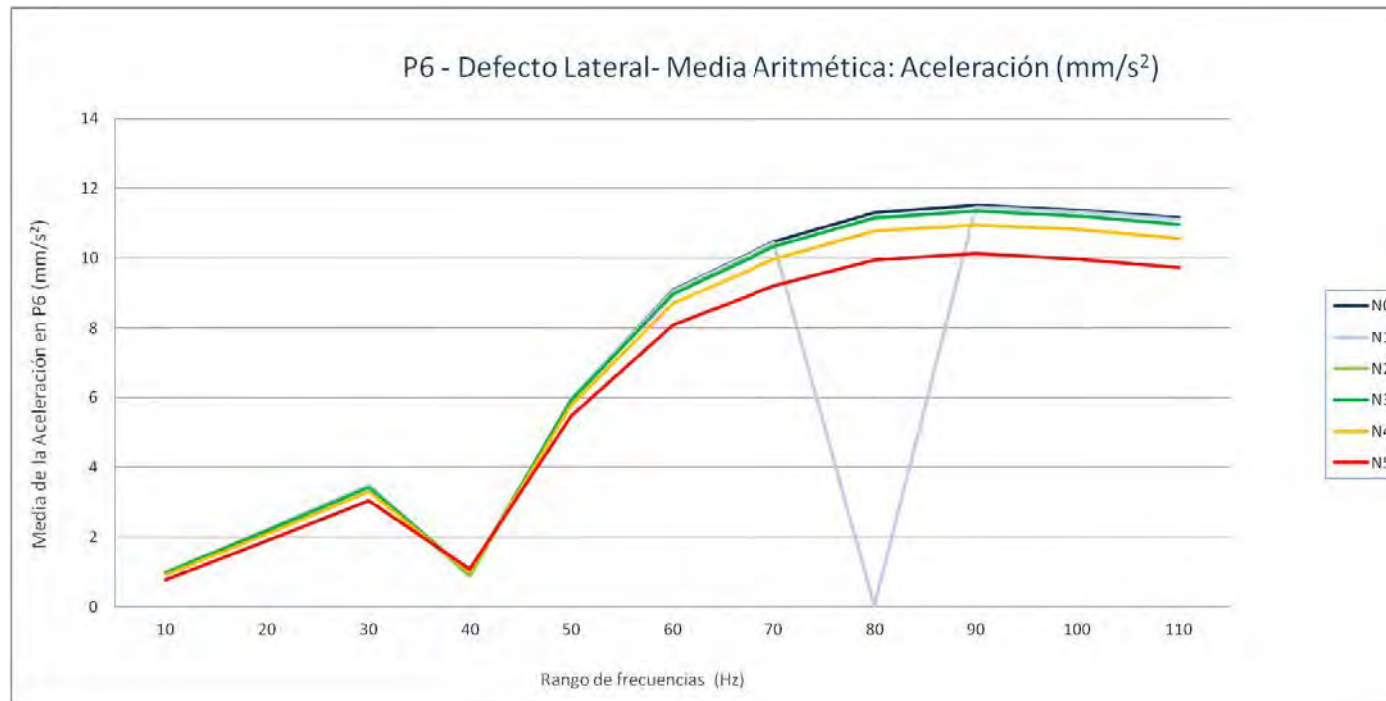
P6. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	2,36053873	2,55763415	2,61328562	7,01337345	2,7061434	2,66668857	2,62507685	2,6163572	2,78052672	2,94057113	3,03235917
N1	2,35169072	2,55494225	2,60566729	6,90418492	2,70054361	2,65756926	2,61952636	2,6111246	2,77480242	2,92726014	3,01734631
N2	2,34682852	2,53476892	2,5889499	6,5719774	2,68583919	2,64226976	2,61089071	2,60720063	2,76002886	2,90509878	2,99400023
N3	2,35563788	2,49892771	2,55889835	5,62378071	2,65316856	2,6126728	2,59043941	2,59118373	2,73498977	2,86569541	2,93894249
N4	2,73939009	2,44237027	2,50380943	4,17075948	2,60661977	2,56505454	2,55754852	2,56177972	2,6920491	2,79334489	2,85719913
N5	4,35521902	2,40894385	2,43538546	3,11227567	2,5559816	2,51496078	2,51357677	2,52663843	2,66020388	2,74713831	2,72449481



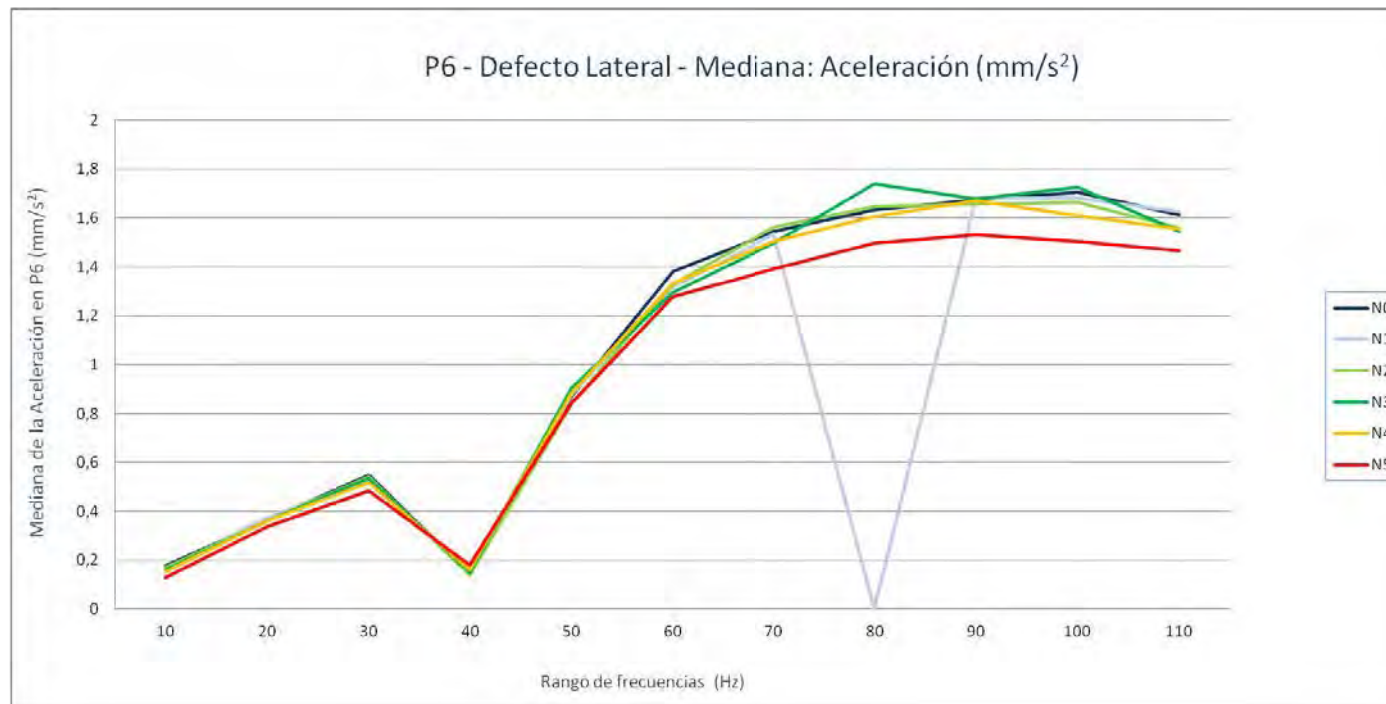
P6. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,99721375	2,20408757	3,47371692	0,92433211	5,95559763	9,09281637	10,4772283	11,3051907	11,5180346	11,3742716	11,1535046
N1	0,99048202	2,19452572	3,46180319	0,90875844	5,94642912	9,06599518	10,4449599	0,02152651	11,469152	11,3307781	11,1017561
N2	0,97727005	2,17446372	3,42837903	0,8781699	5,90193787	8,98857498	10,3417378	11,1272318	11,3566681	11,2124218	10,9779559
N3	0,96375166	2,17355071	3,41587872	0,95779816	5,93428668	8,97549492	10,3165306	11,150763	11,3594683	11,2180046	10,9583117
N4	0,91002479	2,09274708	3,29435012	0,98864734	5,7853251	8,70302468	9,97662341	10,77167	10,9536436	10,815667	10,574804
N5	0,77077332	1,89843014	3,02989455	1,07325743	5,48093866	8,09116548	9,20580776	9,94365666	10,1372466	9,97516371	9,72866653



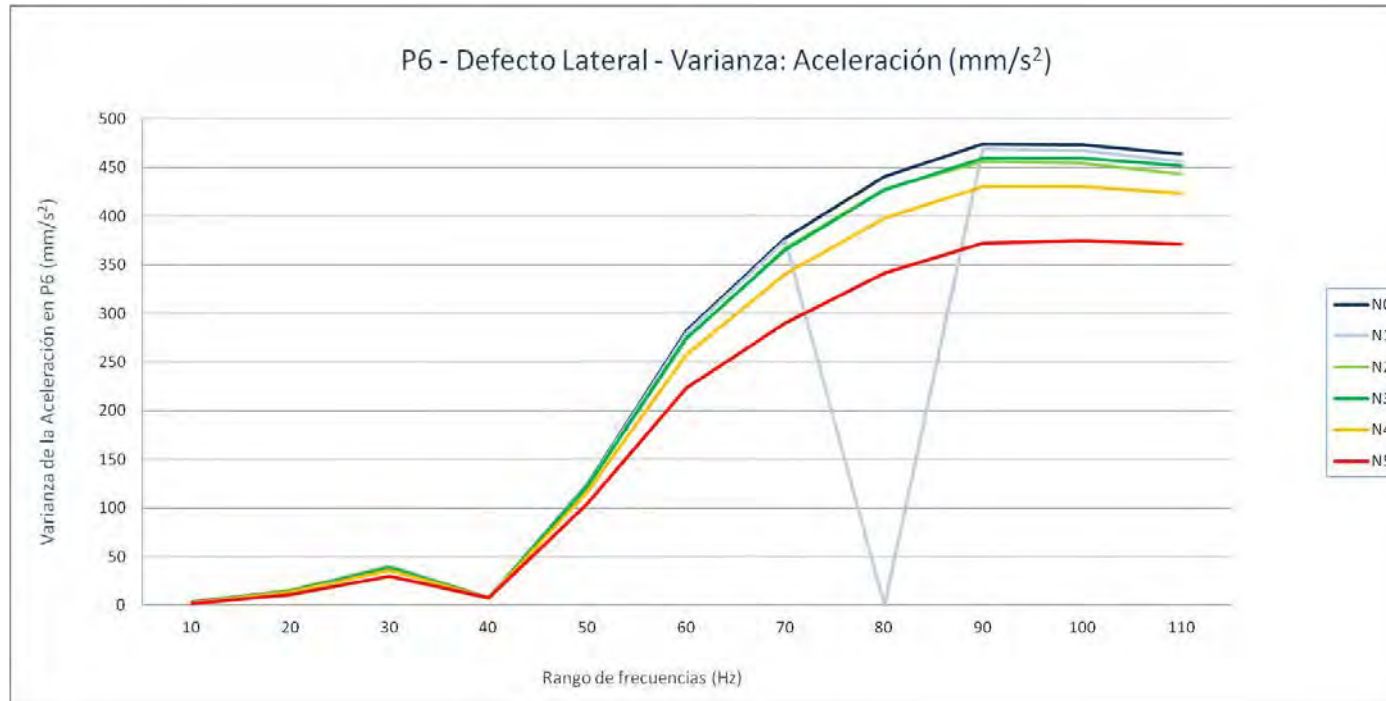
P6. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,176360146	0,364876648	0,548672638	0,141542847	0,870914978	1,379859985	1,543586548	1,63359198	1,674091003	1,706067017	1,614488037
N1	0,164854103	0,374707947	0,531407501	0,141115204	0,876560089	1,317404053	1,536177979	0,003503303	1,681682495	1,681650452	1,626613464
N2	0,170116943	0,360168411	0,541852448	0,139109299	0,837199615	1,330192505	1,563235474	1,648282532	1,658339478	1,665079468	1,558182983
N3	0,159152649	0,360985245	0,535467896	0,148280197	0,90432074	1,297367004	1,497607483	1,739555481	1,679658997	1,726772522	1,545344482
N4	0,154227005	0,360877991	0,518433289	0,158616302	0,884345215	1,334487061	1,503369995	1,606839966	1,671741943	1,609687012	1,553692017
N5	0,130568054	0,336760803	0,485567047	0,178917252	0,843232635	1,278080994	1,391134033	1,498166504	1,532932983	1,503117981	1,4661745



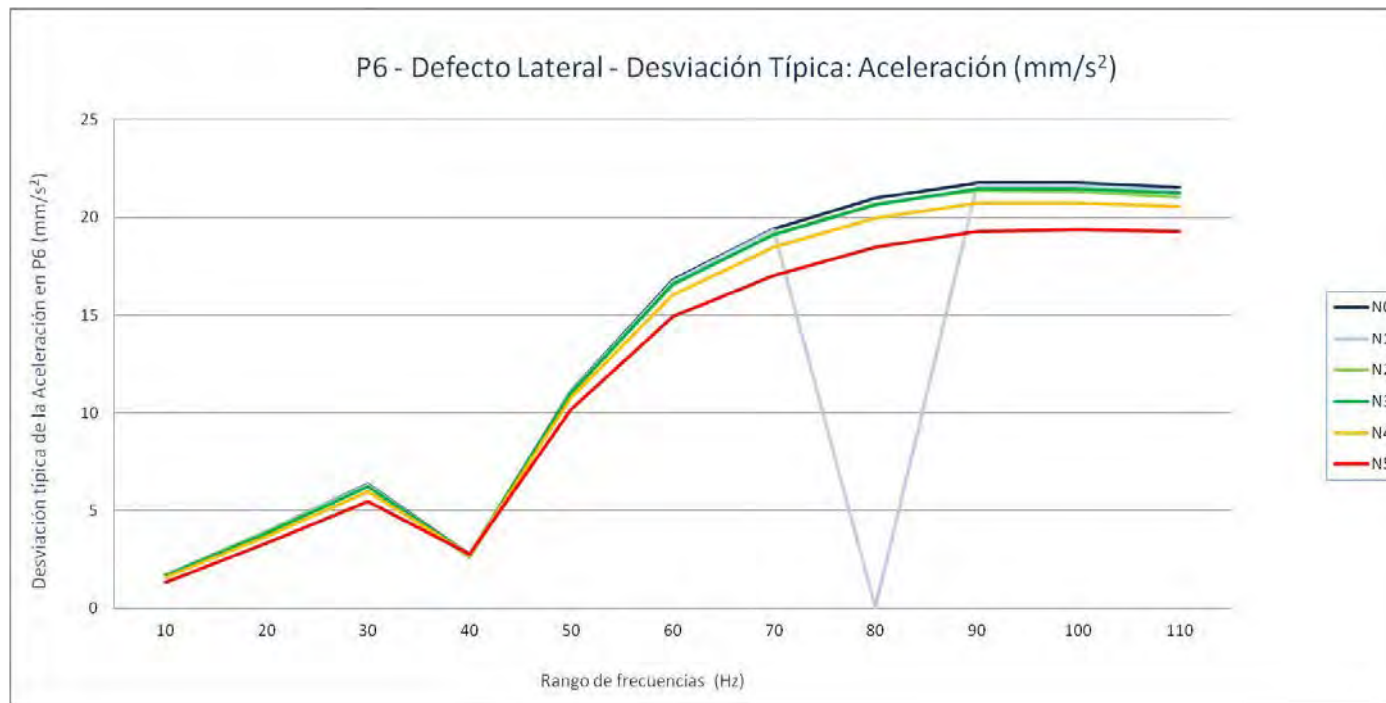
P6. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	2,94904524	15,525286	40,2167329	7,48090441	123,673683	282,030275	377,594042	440,373333	473,971121	473,532196	463,551477
N1	2,89979213	15,3903117	39,8598399	7,29389631	123,111346	279,801	374,998941	0,00158836	468,656642	467,040421	456,408861
N2	2,8046119	15,0340071	38,9201823	6,90666803	121,282087	273,459468	367,52441	428,046216	456,362249	454,128115	443,202968
N3	2,78323712	14,8500872	38,844292	7,50932269	122,15362	274,830597	365,832238	426,73817	459,917939	459,914189	451,654458
N4	2,49363875	13,6391014	35,8659058	7,5002434	116,394809	257,264053	340,783859	398,219826	430,31395	430,629379	423,411313
N5	1,82450179	11,0551094	29,9551049	7,80029552	104,000843	222,936746	290,070109	341,528309	372,187092	374,689723	371,05654



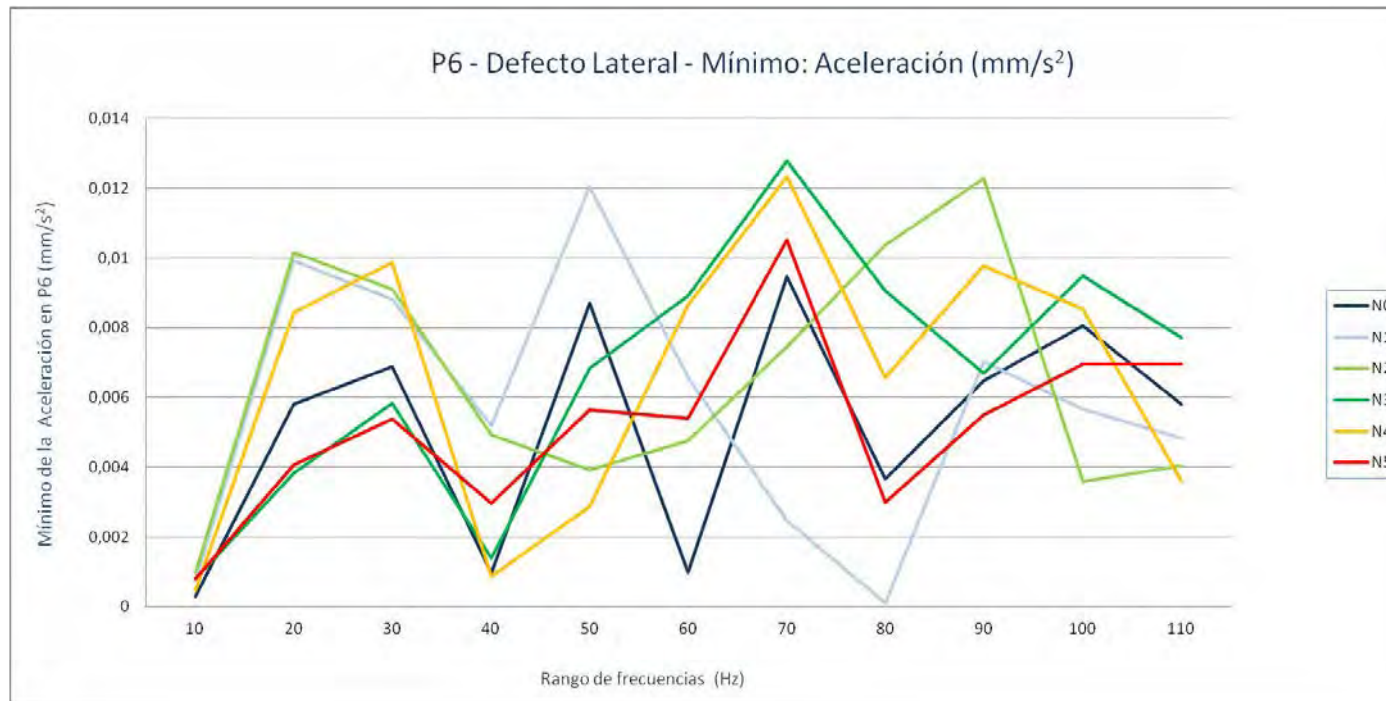
P6. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	1,717278441	3,940213948	6,341666415	2,735124204	11,12086703	16,79375702	19,43177917	20,98507406	21,77087781	21,76079493	21,53024563
N1	1,702877603	3,92304877	6,313464964	2,700721442	11,09555523	16,72725322	19,36488939	0,039854241	21,64847898	21,611118	21,36372769
N2	1,674697554	3,877371163	6,238604198	2,628054038	11,01281466	16,53660992	19,17092615	20,6892778	21,36263675	21,31028192	21,05238628
N3	1,668303664	3,853581086	6,232518916	2,740314341	11,05231288	16,57801548	19,12674144	20,65764192	21,44569746	21,44561002	21,25216361
N4	1,579125946	3,693115403	5,988815062	2,738657225	10,78864259	16,03945302	18,46033205	19,95544601	20,74400997	20,75161148	20,57696074
N5	1,350741202	3,324922462	5,473125698	2,792900915	10,19808035	14,93106647	17,0314447	18,48048455	19,29215105	19,35690375	19,26282794



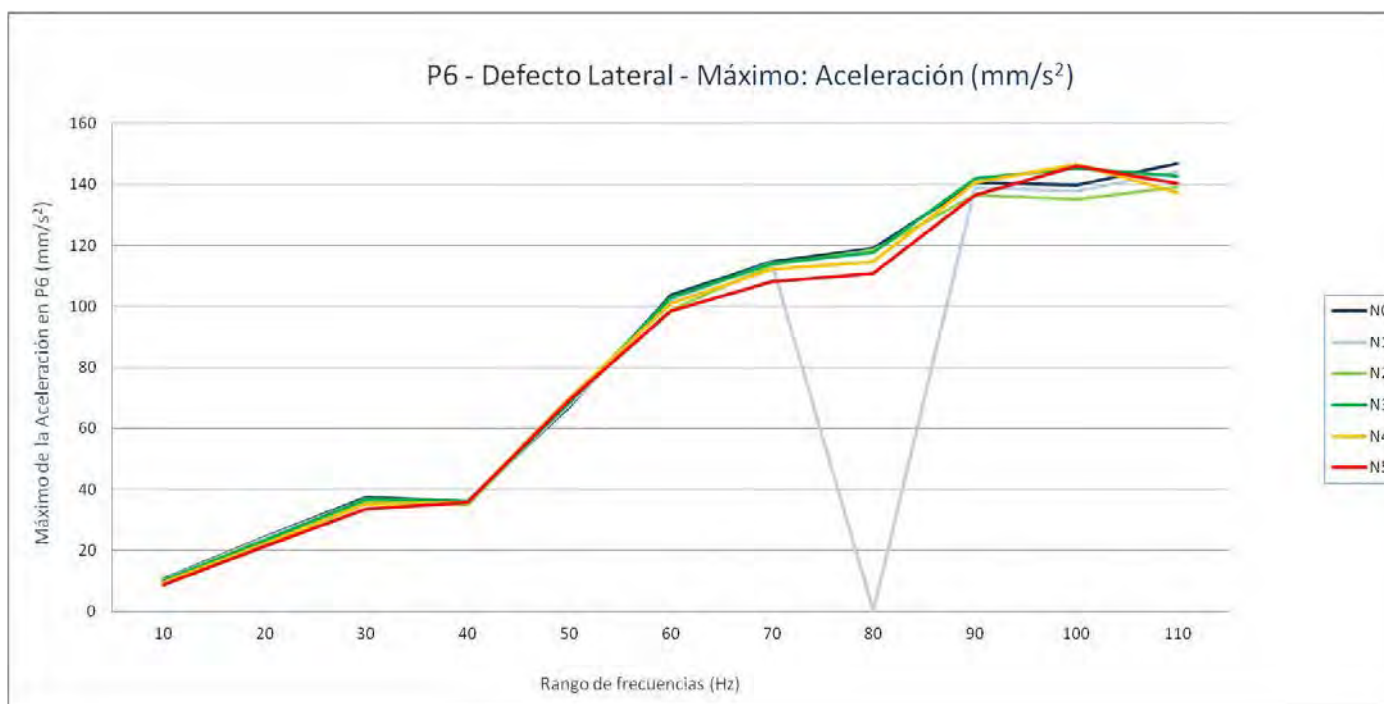
P6. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,0002861	0,00581281	0,00688538	0,00096	0,00869536	0,00098004	0,00946515	0,00364763	0,00648533	0,00806398	0,00580388
N1	0,00074328	0,00990444	0,00880589	0,00517845	0,01204187	0,00656802	0,00246022	0,00010854	0,00703001	0,00567337	0,00481695
N2	0,00097469	0,01014257	0,00911105	0,00492883	0,00391698	0,00475318	0,00746028	0,01036784	0,01228711	0,00358681	0,00403718
N3	0,0008008	0,00382742	0,00583004	0,00139345	0,00682408	0,00890567	0,01276906	0,0090445	0,00669244	0,00947742	0,00772722
N4	0,00046565	0,0084255	0,00985716	0,00086062	0,00287627	0,00865225	0,01232282	0,0065617	0,00978205	0,00852908	0,00361127
N5	0,00079425	0,00407386	0,00536753	0,00296452	0,00565043	0,00540303	0,01050781	0,00300026	0,00549683	0,0069653	0,00694487



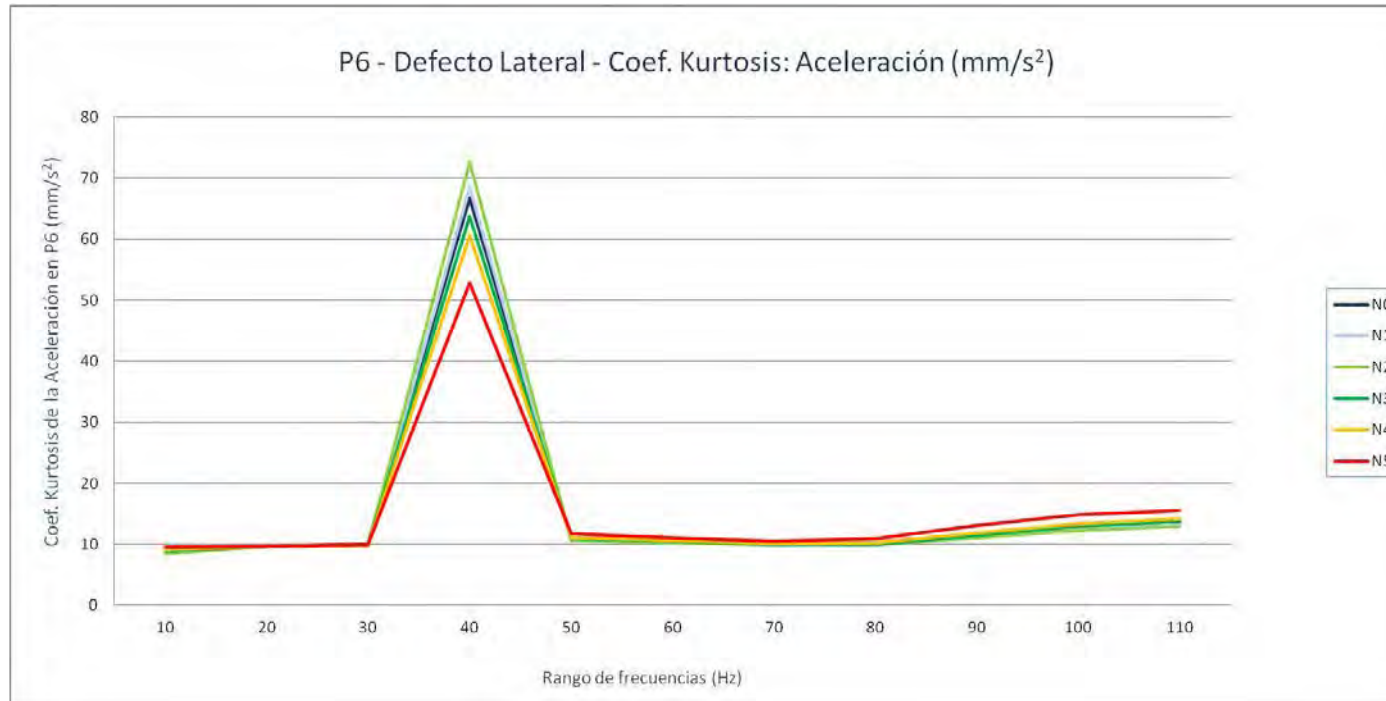
P6. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	10,5684902	24,2183809	37,3309609	36,1571211	67,0956016	103,650797	114,7565	119,000898	140,523297	139,817594	146,86
N1	10,4185596	24,0566504	36,9123516	35,7743711	67,7932266	102,090898	114,390102	0,24005809	138,999297	138,011797	144,1075
N2	10,2368604	23,6395703	35,9387617	34,9376914	69,172	98,9600469	113,686102	118,379297	136,518	135,027297	139,2515
N3	10,1859805	23,2735195	36,7953281	36,0691484	68,4632578	102,8815	114,058398	117,648602	142,063094	145,128594	142,7695
N4	9,59299707	22,2053809	35,3634219	35,7852305	69,8383828	101,146398	112,330297	114,591	140,605406	146,569797	137,390203
N5	8,66563281	21,3077793	33,5144414	35,7183398	69,4496406	98,5342813	108,143203	110,857297	136,632594	146,003	140,252797



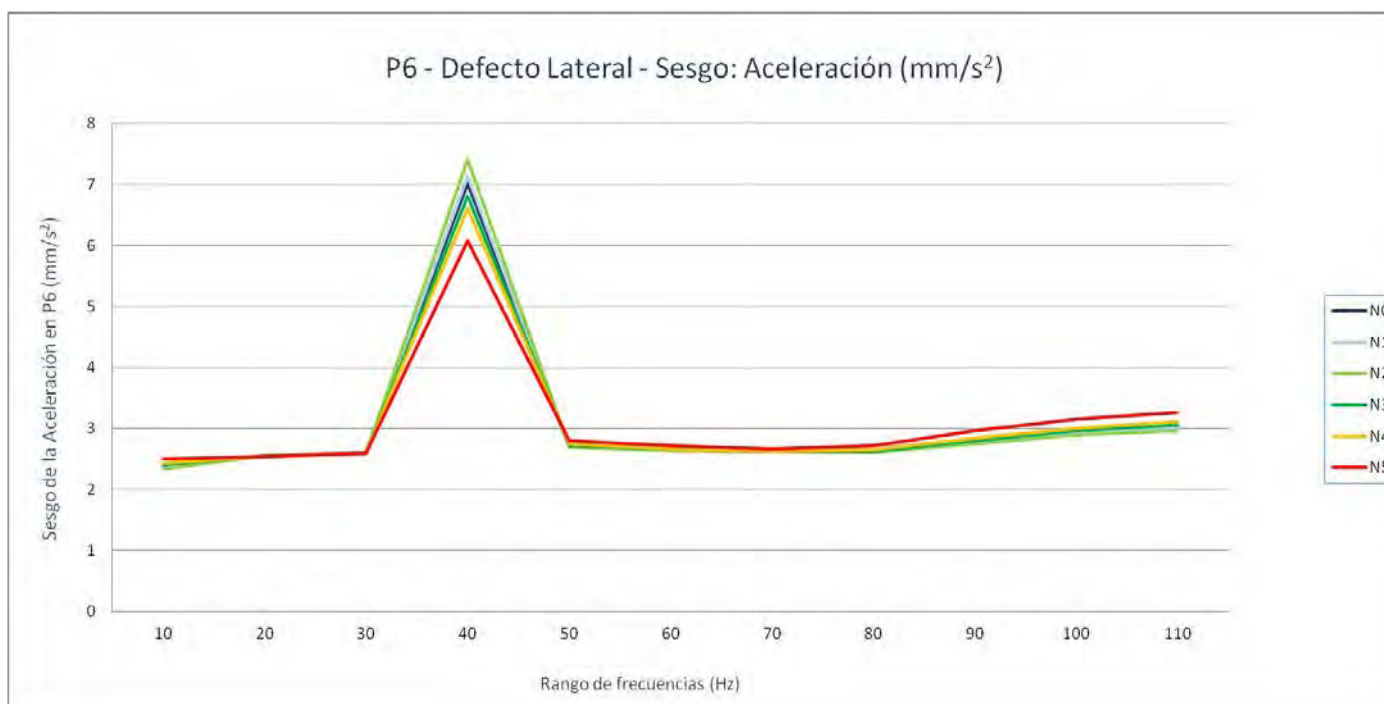
P6. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	8,61571605	9,72038319	10,052919	66,6799513	10,7341651	10,4931104	9,98176774	9,92761344	11,2705242	12,7084317	13,5109107
N1	8,52390836	9,7165058	9,99929065	68,4578758	10,6742407	10,407514	9,97164273	10,6086711	11,1630911	12,5389694	13,2846916
N2	8,43815306	9,7420456	9,89746849	72,5722836	10,6348578	10,2662673	9,9521364	9,90784968	11,0264639	12,290335	12,9565932
N3	8,92217905	9,68190029	9,94690472	63,6651025	10,9030776	10,4847836	9,95181339	10,0077118	11,470379	12,9525566	13,7285579
N4	9,11208803	9,65632418	9,88041851	60,6464456	11,1000063	10,5698183	10,0318578	10,1938844	11,8194559	13,376332	14,1629134
N5	9,54086884	9,69829374	9,95273804	52,815144	11,706587	11,0619647	10,4398828	10,8583306	13,0681394	14,8331521	15,614715



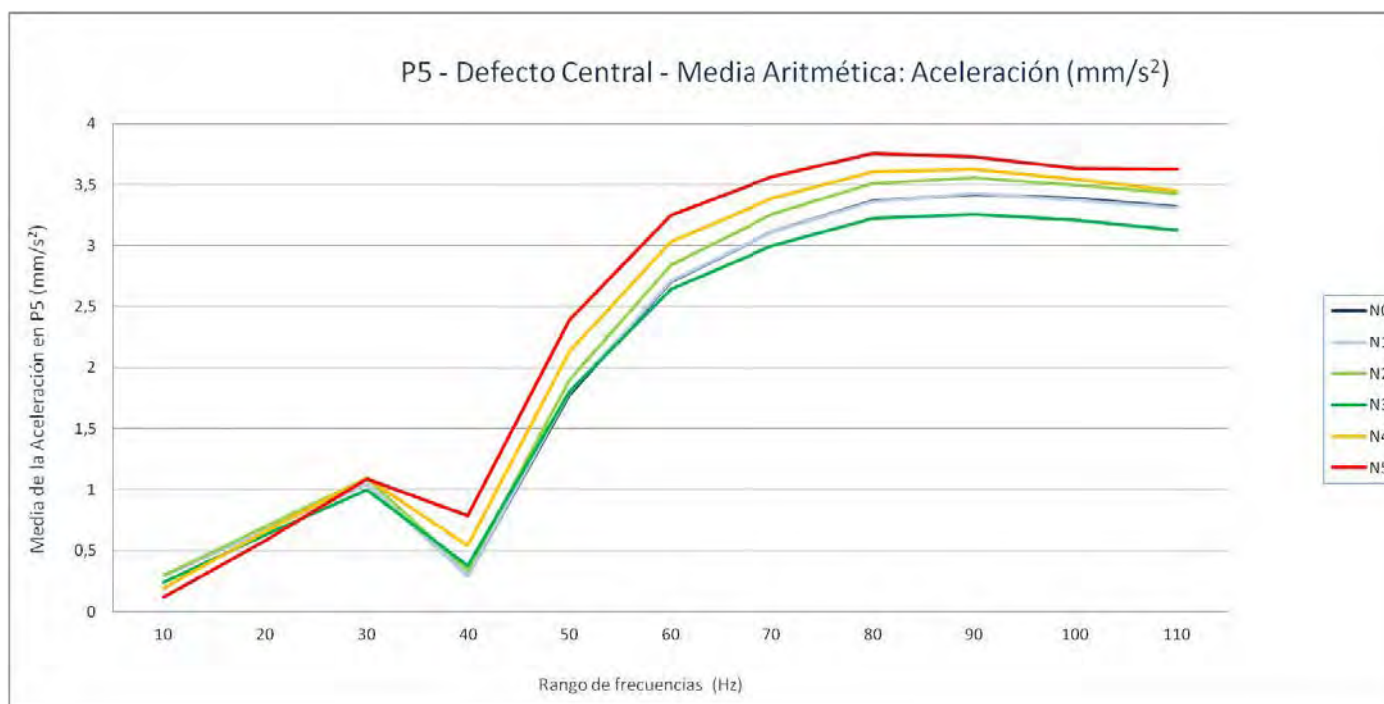
P6. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	2,36053873	2,55763415	2,61328562	7,01337345	2,7061434	2,66668857	2,62507685	2,6163572	2,78052672	2,94057113	3,03235917
N1	2,34814852	2,55526621	2,60652901	7,13435092	2,69829635	2,65631574	2,62308416	2,71578805	2,76719059	2,92019002	3,00549291
N2	2,33590829	2,55532236	2,59379078	7,41081542	2,69182796	2,63893744	2,61872825	2,60992446	2,74983126	2,8905601	2,96626701
N3	2,39795904	2,55285023	2,60135534	6,81327002	2,723093	2,6634999	2,62000017	2,62503101	2,80093266	2,96572359	3,06012354
N4	2,426481	2,54555387	2,59268029	6,61081483	2,74113525	2,66921548	2,62603695	2,64418779	2,83569497	3,00648464	3,10906398
N5	2,50101599	2,54249311	2,59633813	6,07706456	2,79920838	2,71565274	2,66624894	2,71754842	2,96564481	3,14876174	3,26976083



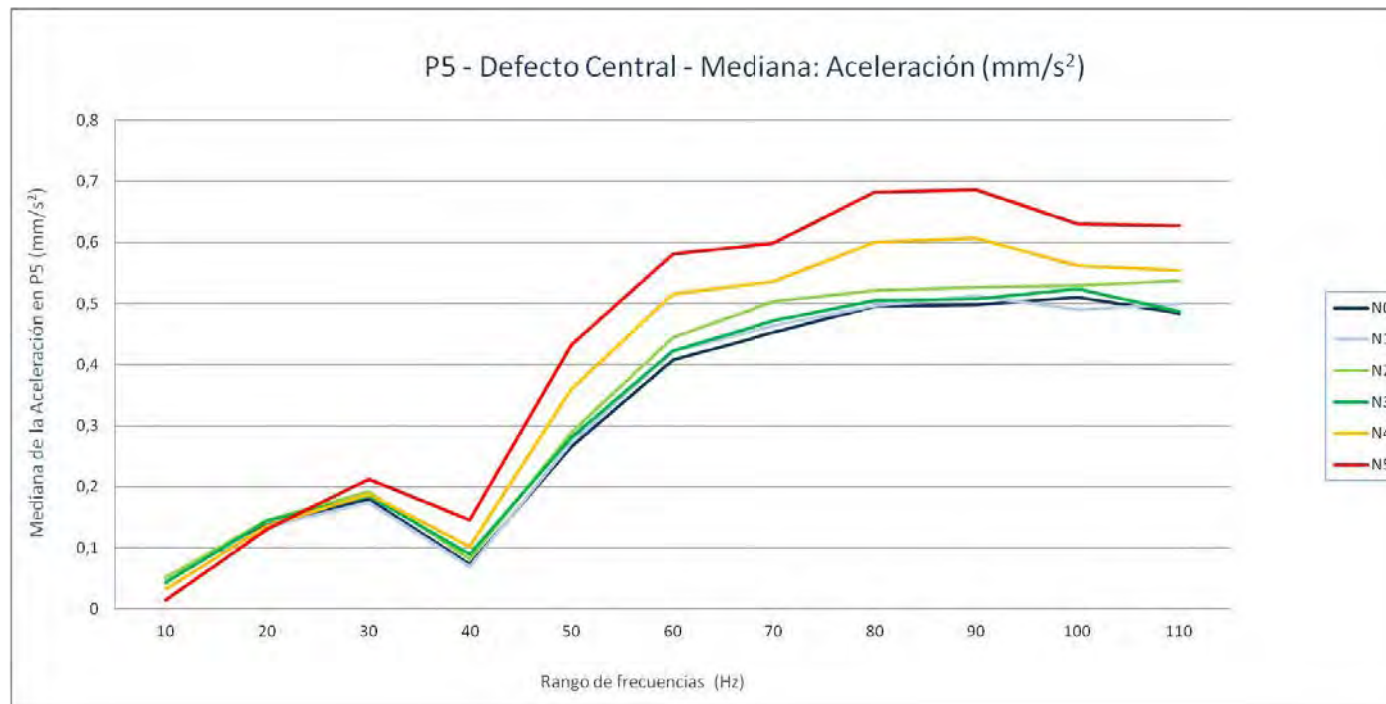
P5. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,29771137	0,67377954	1,04747284	0,29559864	1,77872658	2,70735784	3,11418146	3,36315544	3,42170681	3,3847772	3,32003239
N1	0,29398296	0,67054918	1,04469789	0,29492592	1,7937622	2,71416339	3,11593043	3,36197826	3,42438844	3,37303616	3,3105315
N2	0,29566173	0,69840816	1,09094213	0,33511139	1,89868346	2,8430679	3,25737523	3,51016387	3,55720562	3,49834432	3,43049179
N3	0,24026025	0,62995825	0,99688083	0,37620064	1,8006652	2,64052393	2,99619971	3,22298295	3,25632064	3,20742075	3,1270964
N4	0,19299645	0,65474898	1,0947405	0,54428735	2,13080156	3,03006119	3,39017108	3,60403758	3,62626471	3,54362096	3,45058671
N5	0,11520674	0,58161083	1,08571037	0,7897727	2,39090513	3,25365099	3,56369124	3,75443813	3,73075818	3,63431997	3,622707



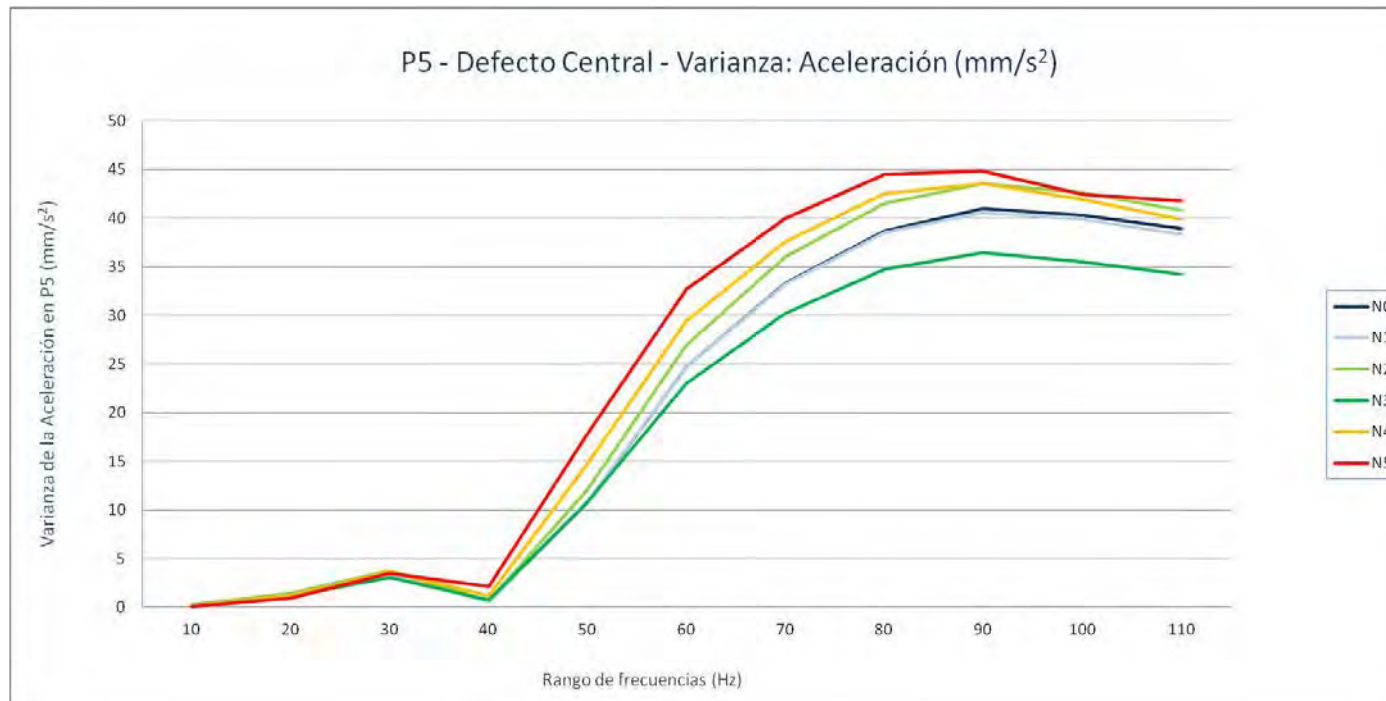
P5. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,051672785	0,137350754	0,180528198	0,073322765	0,265444794	0,407945099	0,452904709	0,494808807	0,497704254	0,510518158	0,484839462
N1	0,049599081	0,1353853	0,175079002	0,06894949	0,272567749	0,421724609	0,464453003	0,495989456	0,513384216	0,490260254	0,499721954
N2	0,05179413	0,145522598	0,1921978	0,081655136	0,288873947	0,444554108	0,503820755	0,520924896	0,525993896	0,529576263	0,537416229
N3	0,042817755	0,144912498	0,1852705	0,090414146	0,280448807	0,423489899	0,471420853	0,504165512	0,508099564	0,523272552	0,486519394
N4	0,032804958	0,135638107	0,188394897	0,102601601	0,360591309	0,515310486	0,536077698	0,600271423	0,607367676	0,561774597	0,553251892
N5	0,01444378	0,1307901	0,212568405	0,145932098	0,432853485	0,581345581	0,5989823	0,68211499	0,685612488	0,630621399	0,628064819



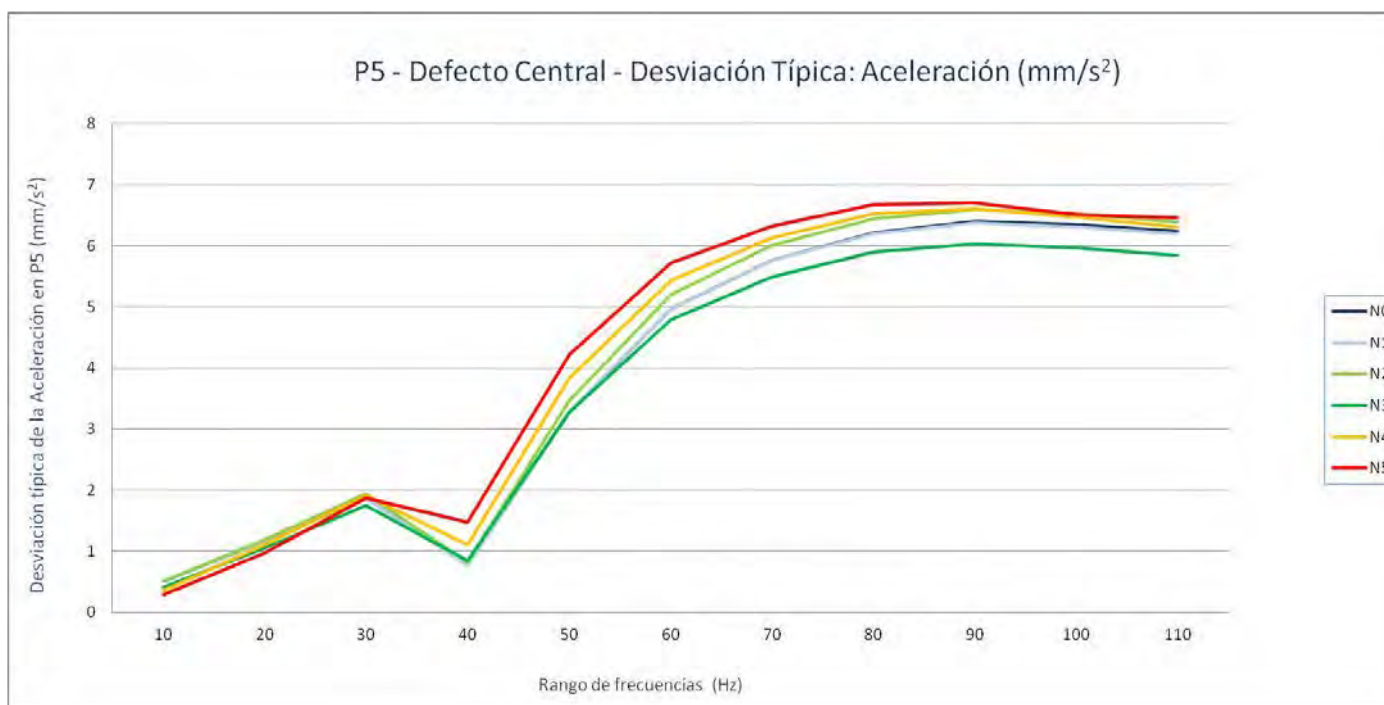
P5. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,25697366	1,3470053	3,51662706	0,59956095	10,7406035	24,6994674	33,2523112	38,6479578	40,9566238	40,3211561	38,9754883
N1	0,25085683	1,33912269	3,50747433	0,59562463	10,8359847	24,7111096	33,2195431	38,4957256	40,5598467	39,864609	38,3741802
N2	0,25352844	1,42788512	3,78751177	0,66890473	12,0222146	26,9876207	36,0084469	41,5212664	43,5373263	42,6028818	40,8398509
N3	0,16818787	1,11493367	3,07975761	0,7279487	10,7637199	23,0204437	30,1670816	34,7501768	36,4500754	35,5246225	34,1945199
N4	0,12417578	1,22677858	3,67872647	1,22665521	14,6855474	29,4569685	37,5523529	42,5490166	43,5880698	41,9491794	39,8451061
N5	0,08447709	0,93087655	3,48166526	2,17635616	17,7925815	32,6957308	39,9437435	44,51799	44,8444802	42,4671691	41,7761355



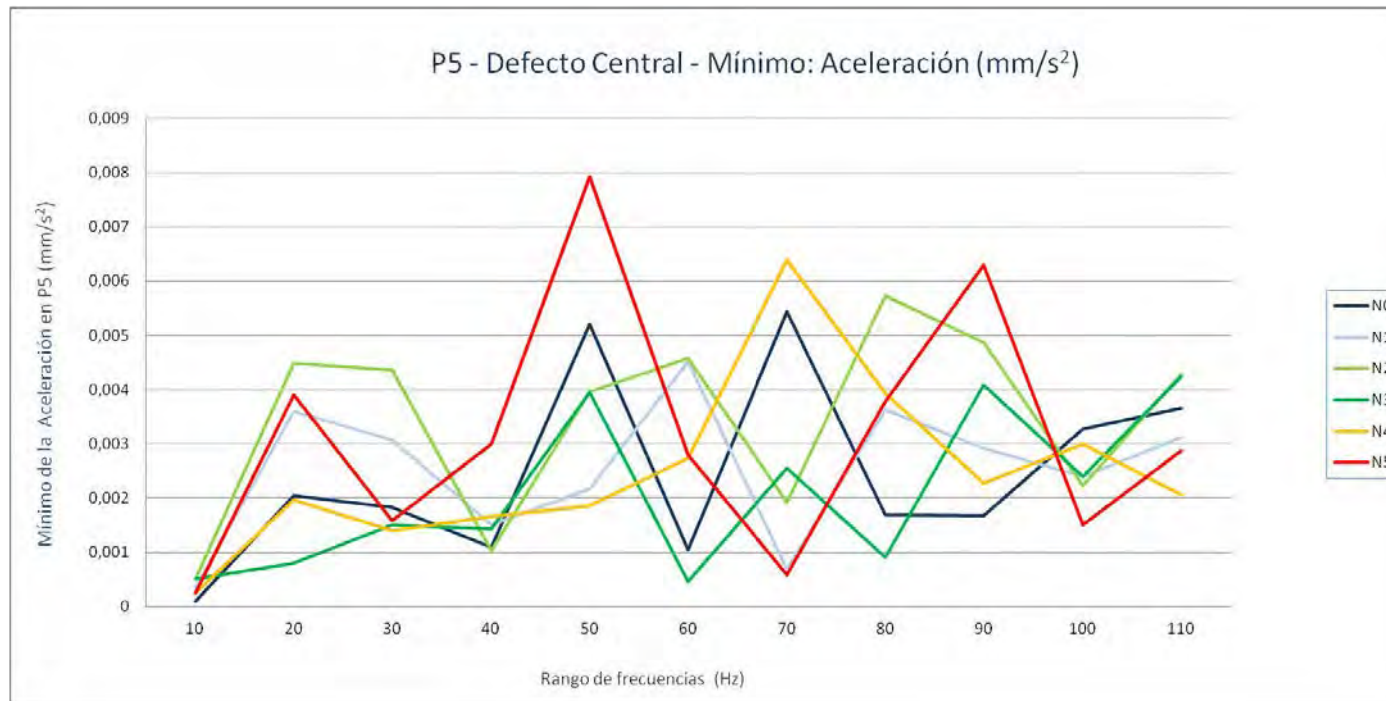
P5. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,506925695	1,160605573	1,875267196	0,774313211	3,277286001	4,969855874	5,7664817	6,216748166	6,399736228	6,34989418	6,243035184
N1	0,500856095	1,157204687	1,872825228	0,77176721	3,291805686	4,971027018	5,763639743	6,20449237	6,368661293	6,313842646	6,194689675
N2	0,503516074	1,194941472	1,94615307	0,817865962	3,467306536	5,194961088	6,000703863	6,443699743	6,59828207	6,52708831	6,39060646
N3	0,410107142	1,055904194	1,754923818	0,853199098	3,280810865	4,797962448	5,492456787	5,894928055	6,037389782	5,960253559	5,847608052
N4	0,352385846	1,10760037	1,918000645	1,107544677	3,83217268	5,427427425	6,127997462	6,522960721	6,602126161	6,47681862	6,312298007
N5	0,290649436	0,96481944	1,865922094	1,475247831	4,21812535	5,71801808	6,320106291	6,672180301	6,69660214	6,516683907	6,463446101



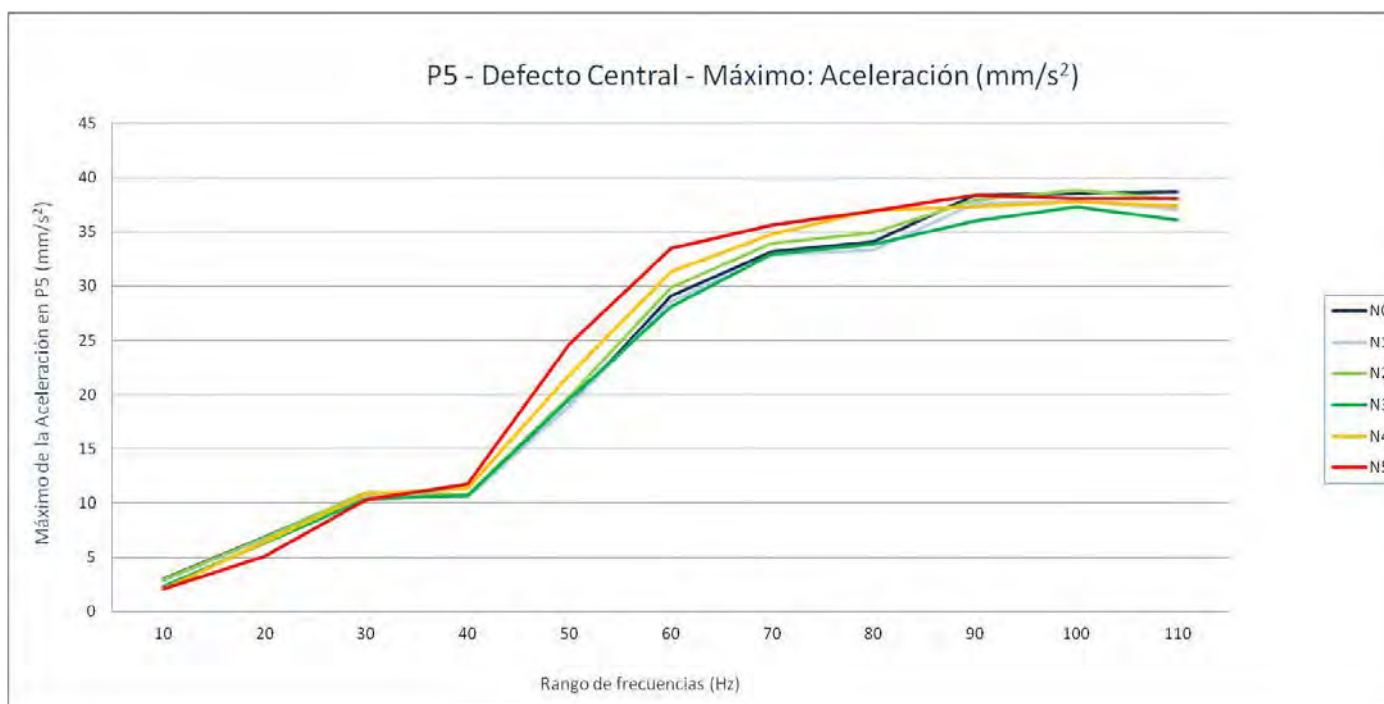
P5. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	9,947E-05	0,00204868	0,0018225	0,00108683	0,00520345	0,00104697	0,00543445	0,00169102	0,00167256	0,00327352	0,00366398
N1	0,00035224	0,00358935	0,0030735	0,00151152	0,00216976	0,00452251	0,00068789	0,00362291	0,00292337	0,00240029	0,00311882
N2	0,00051098	0,00449124	0,00435942	0,00102811	0,00396309	0,00457328	0,00191873	0,00572558	0,00487199	0,00222678	0,00428741
N3	0,00051319	0,00079737	0,00150594	0,00142817	0,00395173	0,00046476	0,00255035	0,00091495	0,00408599	0,00240006	0,00423862
N4	0,00025303	0,00196099	0,00140133	0,00166069	0,00185366	0,00274218	0,00638913	0,00393363	0,00227932	0,00299199	0,00206661
N5	0,0002435	0,00389983	0,00158752	0,00298936	0,00791943	0,00279868	0,00058012	0,00378006	0,00629686	0,00150224	0,00287631



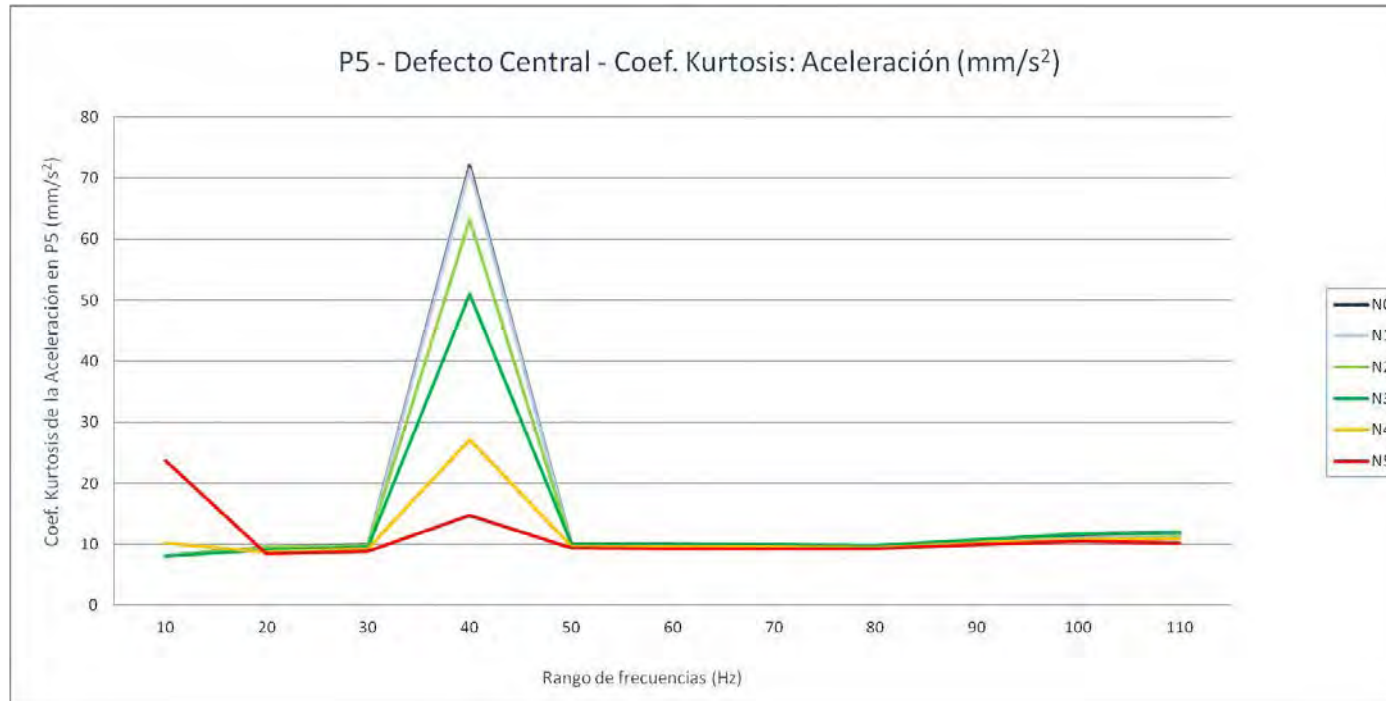
P5. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	2,97502393	6,88080078	10,9090498	10,6212305	18,9402305	29,1105	33,1697188	34,1172305	38,4173516	38,5639297	38,6843906
N1	2,8814729	6,70058008	10,6524697	10,5313203	18,9794102	28,5416406	32,9010781	33,3493008	37,60725	37,8444414	37,0791914
N2	2,911677	6,78512207	11,0077197	10,7971797	19,8285508	29,8994492	33,9427617	34,9256484	37,9321484	38,8416992	38,0446719
N3	2,29563208	6,32023291	10,3587803	10,6634902	19,5781602	28,0921406	32,9548398	33,8573594	35,9991602	37,3378516	36,0879102
N4	2,06242993	6,40296582	10,8302305	11,3449404	21,7984004	31,2973906	34,7691992	37,0433398	37,3479492	37,8089609	37,3960391
N5	2,08947998	5,09739209	10,3086201	11,7540195	24,6627109	33,4774492	35,6531016	36,9661797	38,3608086	38,0745781	38,0884805



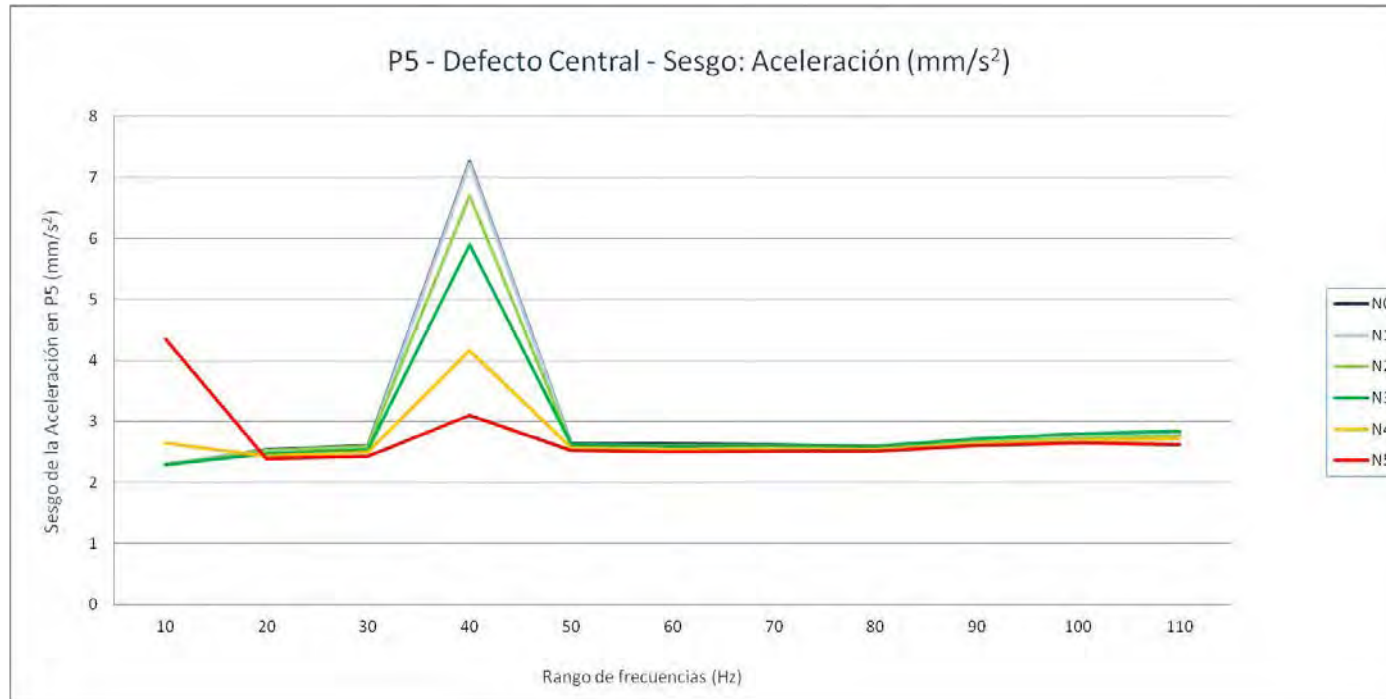
P5. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	8,16518331	9,56449868	9,97016634	72,0365907	10,1215169	10,1413778	9,95751214	9,74769474	10,5517229	11,3767595	11,7419597
N1	8,18341594	9,46313782	9,78852788	71,430374	9,973767	9,94519774	9,78861809	9,58369845	10,3464569	11,1023635	11,4426376
N2	8,0497115	9,49230678	9,83233716	63,2042413	9,94327653	9,92980312	9,82403937	9,60628742	10,2574188	10,9068187	11,1880664
N3	7,99523405	9,11684487	9,56764687	51,0961858	10,0940996	9,98896308	9,90192277	9,82797602	10,7973909	11,6653904	11,966837
N4	10,2583251	8,76314988	9,26900795	27,0906813	9,69914455	9,58410688	9,5592767	9,42320172	10,1664222	10,743249	10,9292084
N5	23,7125177	8,45275432	8,81394329	14,7023423	9,44344944	9,26121889	9,30966731	9,27382141	9,97252426	10,4685506	10,2489787



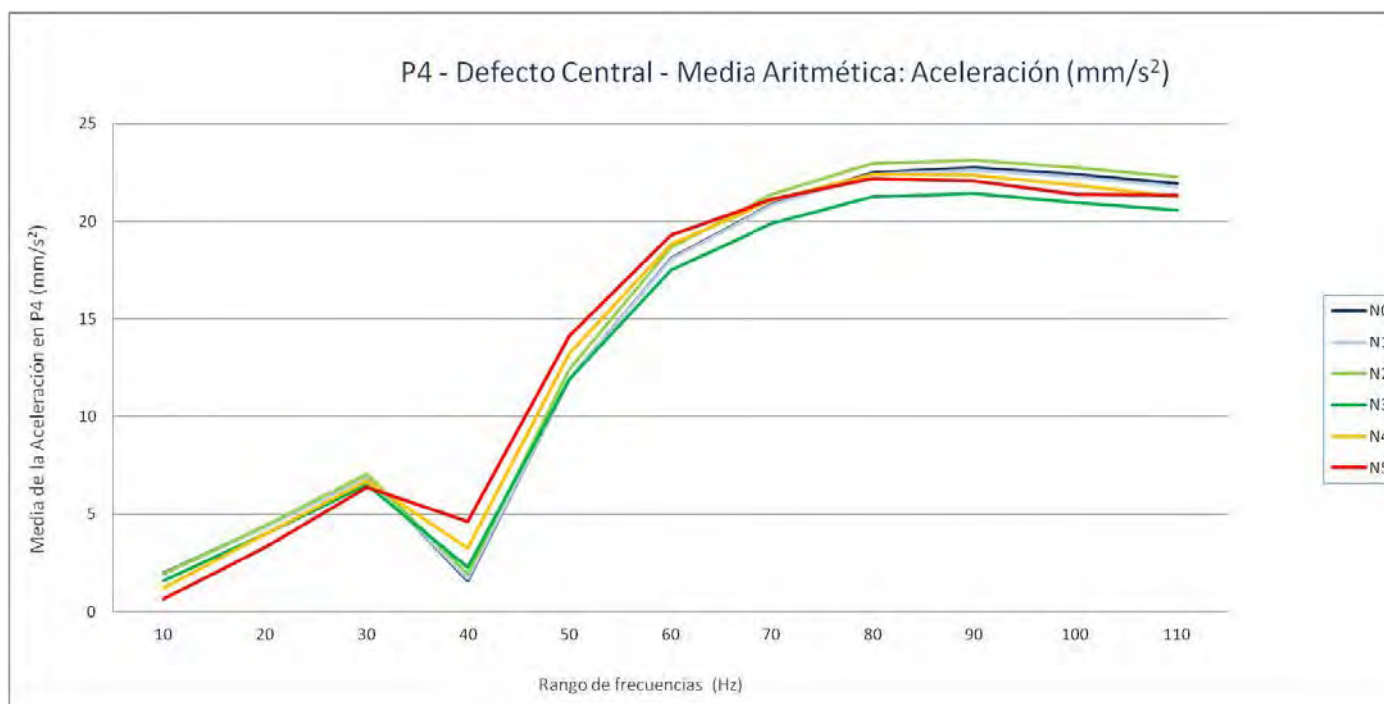
P5. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	2,2994521	2,53958014	2,60497338	7,2623923	2,63480861	2,62982628	2,62335327	2,59729566	2,70050762	2,7884526	2,82577472
N1	2,30293708	2,52886178	2,58526536	7,22842005	2,61726982	2,60762007	2,6034103	2,57719636	2,67669836	2,75667083	2,79241092
N2	2,28502602	2,52888917	2,58904837	6,70947333	2,61111133	2,6053936	2,60637441	2,57901261	2,66460826	2,73520992	2,7656593
N3	2,29106192	2,47319945	2,54673668	5,89898581	2,61813283	2,59957711	2,6037171	2,59651975	2,71482725	2,8037361	2,8376039
N4	2,64383889	2,42727037	2,50024422	4,16422134	2,5650628	2,54716111	2,55693448	2,54479023	2,63546832	2,69406582	2,7176342
N5	4,35518421	2,38722977	2,43229107	3,0985704	2,52175809	2,49753297	2,51305359	2,51230594	2,60719604	2,65447983	2,62297086



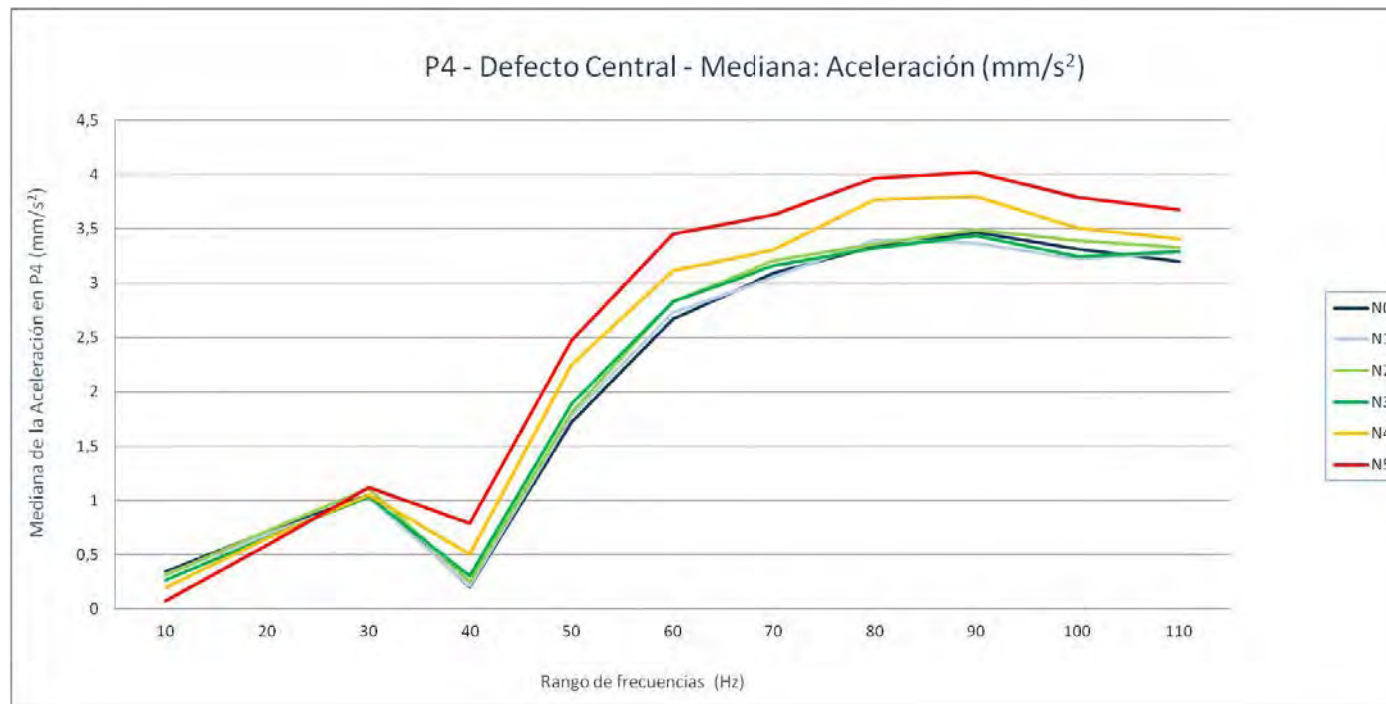
P4. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	1,99060001	4,37109768	6,90740718	1,61005202	11,9119697	18,0987244	20,8732473	22,5105475	22,7445361	22,4014666	21,9228267
N1	1,95277428	4,33704871	6,87147021	1,68010289	11,9321363	18,0622428	20,8071224	22,4212624	22,6077029	22,2713127	21,7764293
N2	1,93371228	4,42653974	7,05759306	1,9284323	12,4161046	18,6633296	21,3897476	22,9656972	23,1381454	22,7537781	22,2584746
N3	1,58040611	3,99609456	6,49310875	2,27295248	11,923509	17,5076733	19,8855074	21,2684213	21,4286981	20,9443296	20,5661339
N4	1,19212587	3,96097969	6,73219775	3,266259	13,2508932	18,8370475	21,0981296	22,3923456	22,3650684	21,8611942	21,2555829
N5	0,66867298	3,30865318	6,36864393	4,60375344	14,149502	19,3026156	21,1322256	22,2029252	22,0449623	21,3882583	21,3262865



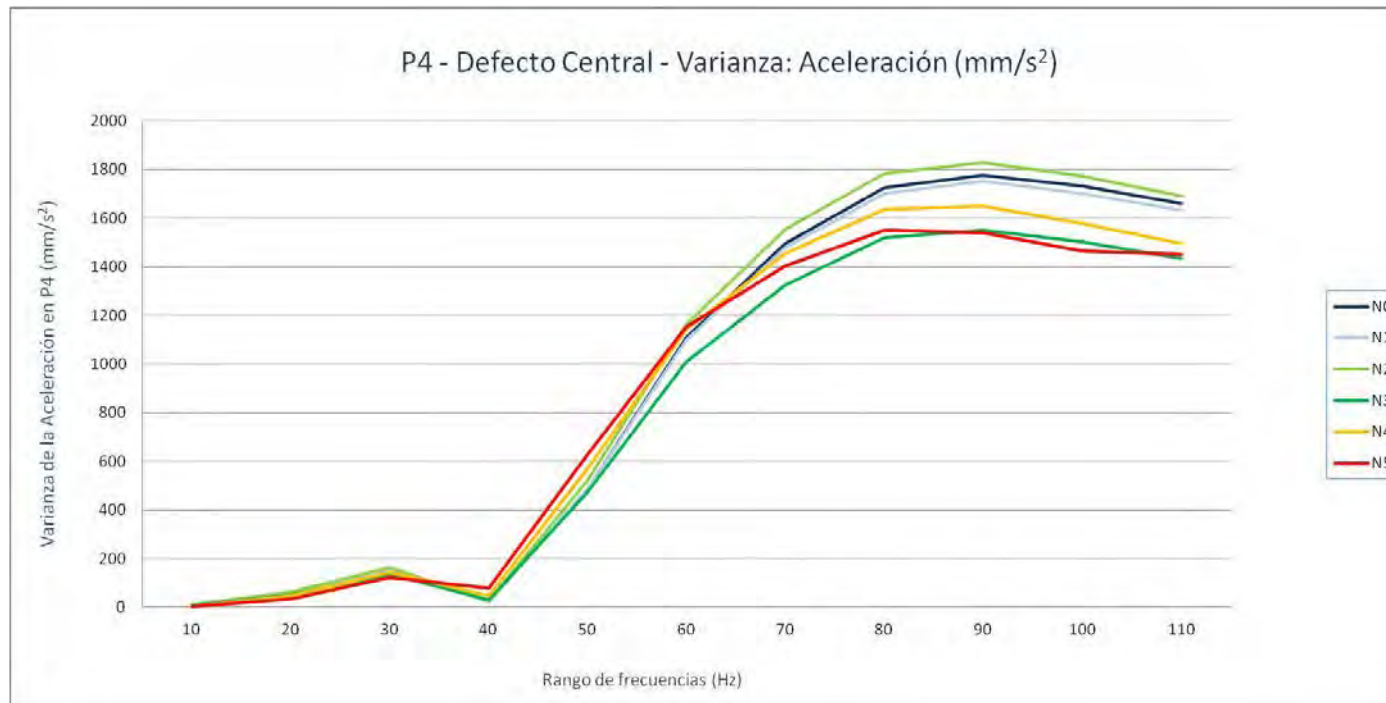
P4. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,343230942	0,711528351	1,052420471	0,208289848	1,719111511	2,669813477	3,09480603	3,334943481	3,468628418	3,311324463	3,202039063
N1	0,318712753	0,692157043	1,028937012	0,210904144	1,781482483	2,733302979	3,057203979	3,399831543	3,365721436	3,224365479	3,280991089
N2	0,316065552	0,720776093	1,109137024	0,250933502	1,809828979	2,827719482	3,20683606	3,361347534	3,492971924	3,395035034	3,328630493
N3	0,266387253	0,662750061	1,036970978	0,30549324	1,888047485	2,832089966	3,15994104	3,321041992	3,437828003	3,243749023	3,292165405
N4	0,1973638	0,648846985	1,049557983	0,509181702	2,244376953	3,11638208	3,309423096	3,770395996	3,795774902	3,504323975	3,405811035
N5	0,079388496	0,592273071	1,121380981	0,791797485	2,472510986	3,454589111	3,629169922	3,966625	4,02237793	3,792094971	3,677952881



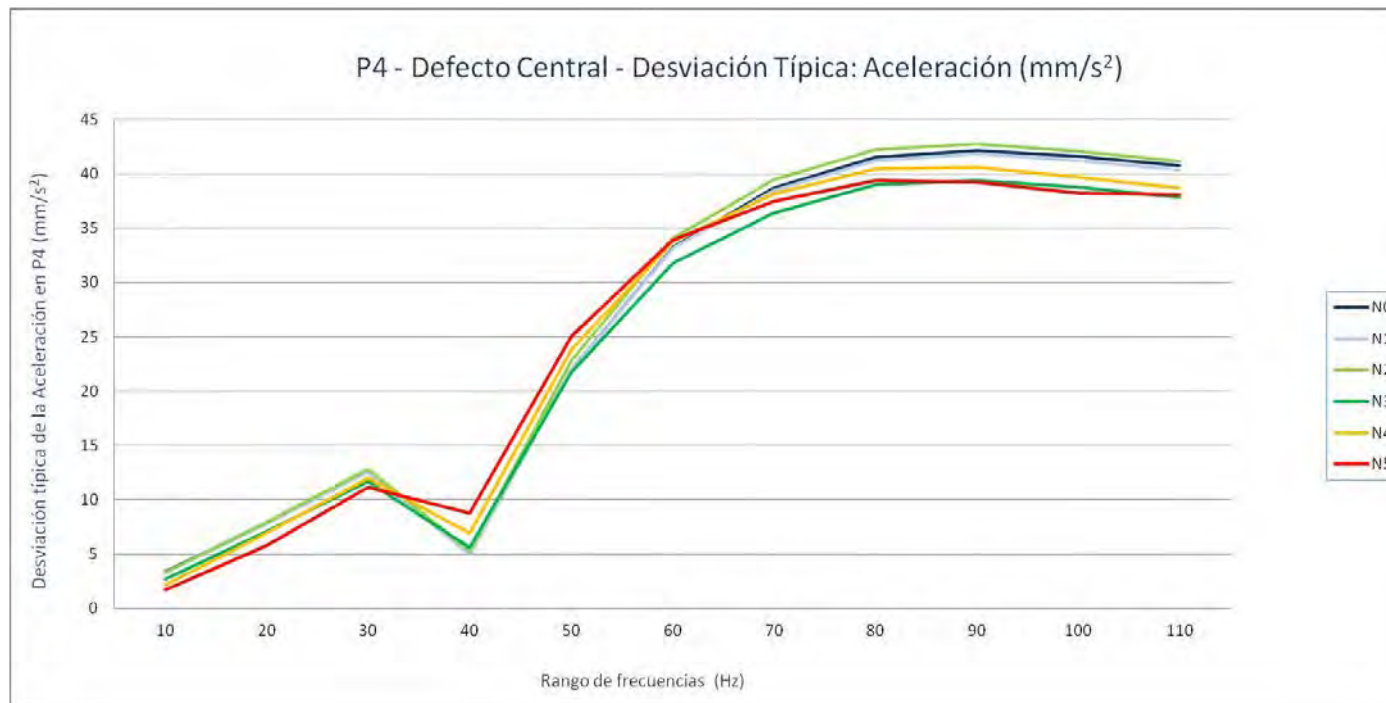
P4. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	11,4349421	61,1196239	159,000812	24,9595672	482,352192	1107,98431	1497,13584	1724,56444	1776,51906	1730,85476	1661,03234
N1	11,0657566	60,1022391	156,950903	25,3509878	482,772614	1098,81498	1478,76449	1701,10794	1751,12626	1702,43879	1632,02012
N2	10,8327407	62,3411047	164,64692	27,8978147	519,836846	1163,2208	1555,80039	1782,26391	1826,85756	1771,86378	1692,55105
N3	7,27773179	49,5826631	136,655232	31,6824459	472,245902	1010,11018	1324,97496	1519,40244	1551,62923	1503,82657	1433,75291
N4	4,69654887	47,7574174	144,051536	47,4467332	568,066341	1142,30938	1455,31017	1636,98878	1648,95583	1577,55635	1496,45106
N5	2,95789641	32,910537	124,00327	76,9517687	626,355034	1151,86479	1403,94365	1551,90991	1539,10161	1463,51449	1452,92617



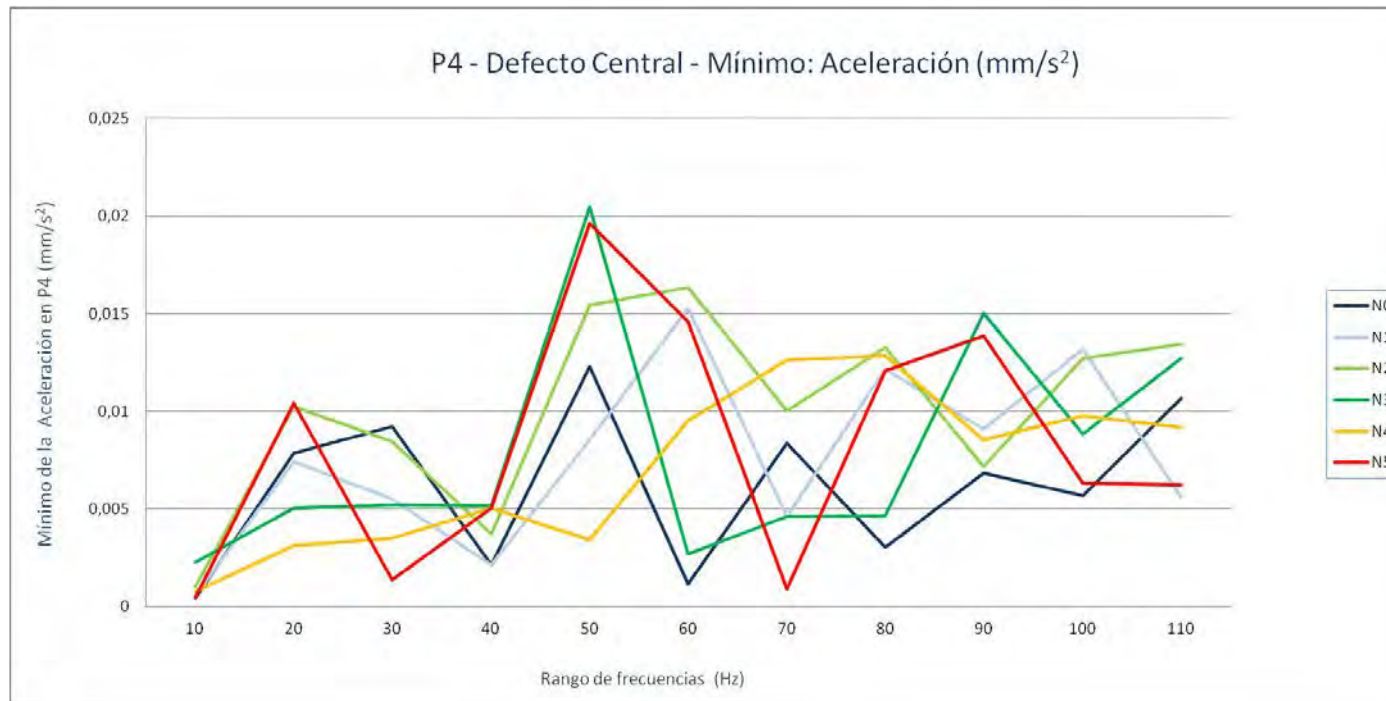
P4. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	3,381559124	7,817904062	12,60955241	4,995955083	21,96251789	33,28639831	38,6928397	41,52787547	42,1487729	41,60354268	40,75576454
N1	3,326523207	7,752563387	12,52800475	5,034976444	21,97208716	33,14837818	38,45470696	41,24448986	41,84646053	41,26062035	40,39826872
N2	3,29131291	7,895638333	12,83148159	5,281838191	22,79993083	34,10602297	39,44363565	42,21686766	42,74175429	42,09351229	41,14062527
N3	2,697727153	7,041495798	11,68996287	5,628716187	21,73121953	31,78223059	36,40020545	38,97951305	39,39072519	38,77920284	37,86492977
N4	2,167152248	6,910674162	12,00214715	6,888158914	23,83414233	33,7980677	38,14852773	40,45971795	40,60733717	39,71846353	38,68398974
N5	1,7198536	5,736770606	11,13567556	8,772215721	25,02708601	33,93913363	37,4692361	39,39428784	39,23138553	38,25590794	38,1172687



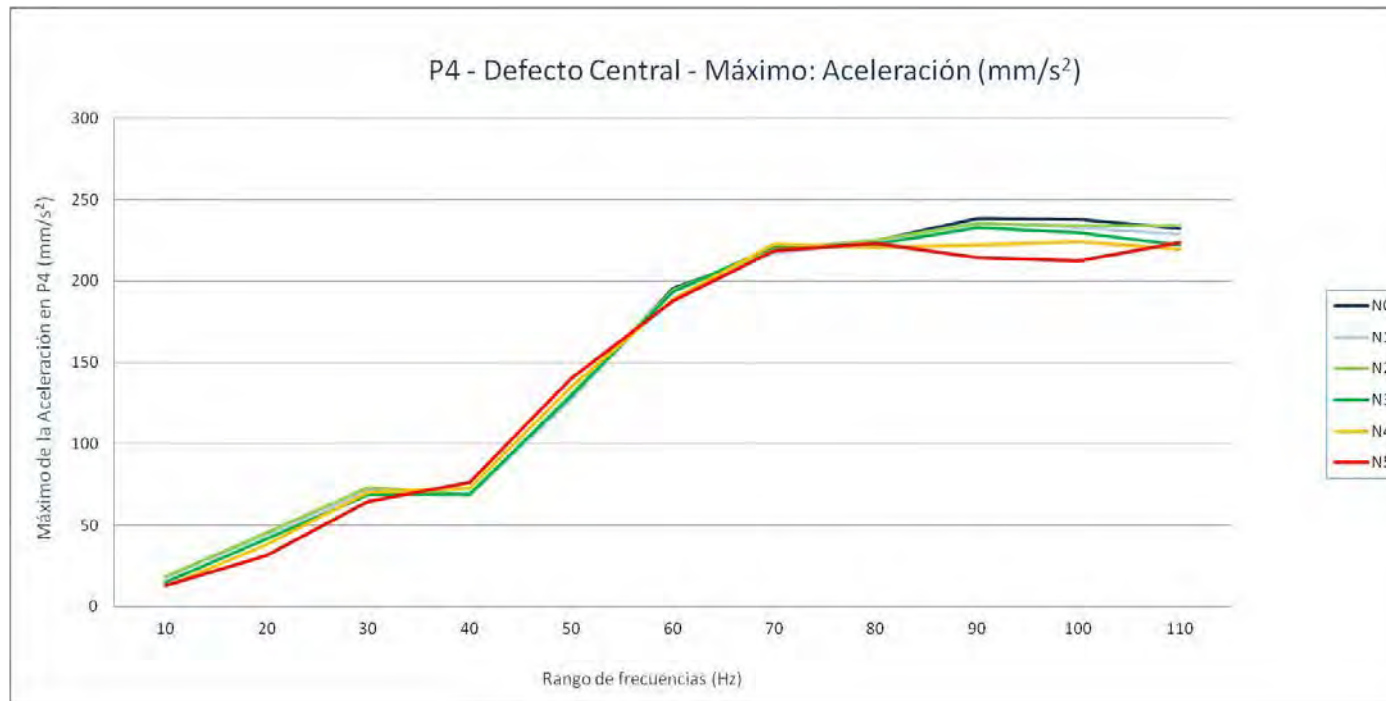
P4. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00042463	0,00786993	0,00923148	0,00213081	0,01229973	0,0011524	0,00835561	0,00302987	0,00683824	0,00566239	0,01065771
N1	0,00056532	0,00743505	0,00549414	0,00213967	0,00853615	0,01527293	0,00461693	0,0121531	0,00907571	0,0131938	0,0055753
N2	0,00102458	0,01024097	0,00844013	0,00372515	0,01544296	0,01633019	0,01003901	0,01326157	0,00715465	0,01272184	0,01344687
N3	0,00224943	0,00505695	0,0052085	0,00515992	0,02047086	0,00268443	0,00460871	0,00467093	0,01500636	0,00884519	0,01272117
N4	0,00076288	0,00313948	0,00350089	0,00505014	0,00341428	0,00953878	0,01264345	0,01282711	0,00855223	0,00977581	0,00917804
N5	0,00046414	0,01042268	0,00139379	0,00504238	0,0196234	0,01460066	0,00091316	0,01209691	0,01387445	0,00633464	0,00621563



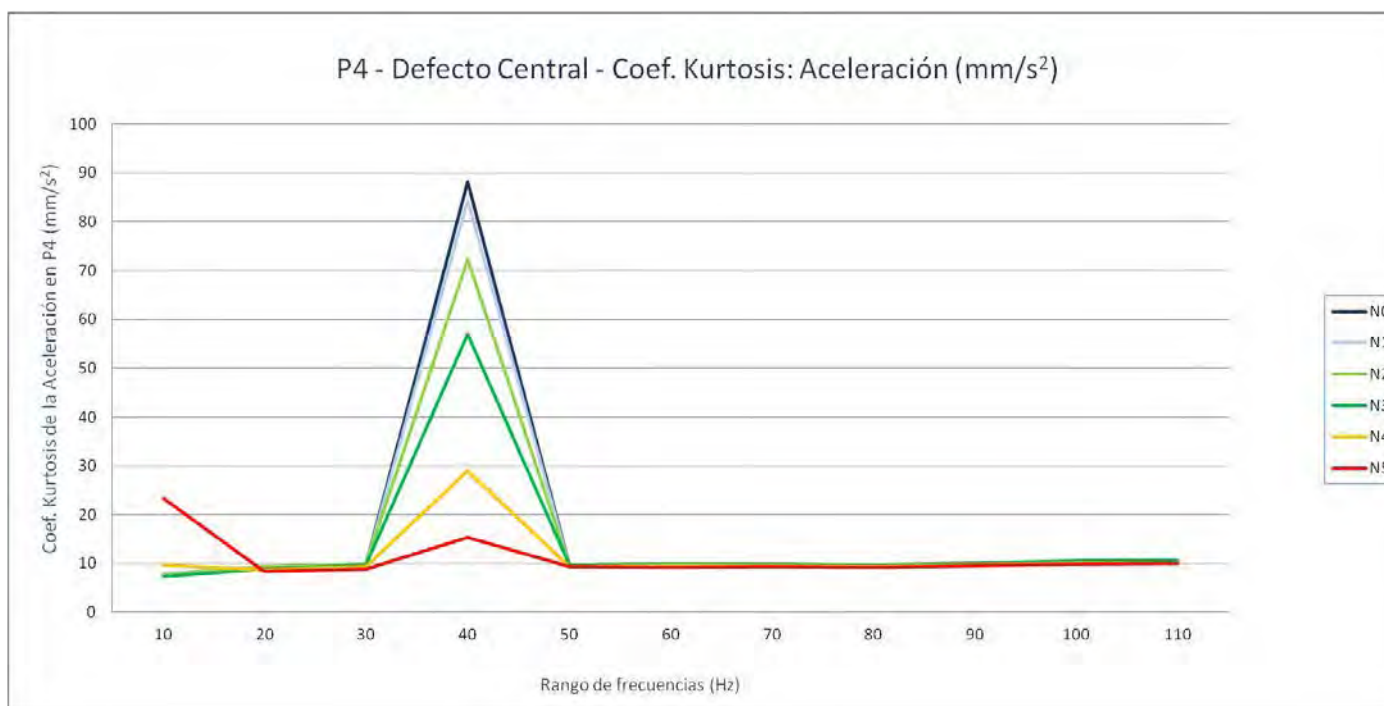
P4. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	17,8665996	45,0697813	72,6579297	68,2797813	128,4555	195,629406	217,494906	224,886594	238,762906	237,984406	232,626
N1	17,9852402	44,2187813	71,2325625	68,2566406	127,351398	194,195906	216,821297	224,4555	235,918797	232,742094	228,794594
N2	18,3270293	45,2863711	73,2342578	68,4455234	130,783898	194,604297	219,242	225,319	235,4155	233,952094	233,701703
N3	14,9972002	41,6890391	68,8854375	69,0631563	129,775102	193,773703	221,019703	222,691703	232,904203	229,869906	222,235594
N4	12,3722695	38,1011289	70,3723438	72,7762109	135,281094	189,134906	222,804703	220,799203	222,247	224,018	219,546797
N5	12,8148096	31,4547793	64,6910586	76,1482578	140,171594	187,884703	218,616094	223,445094	214,371406	212,542	223,497297



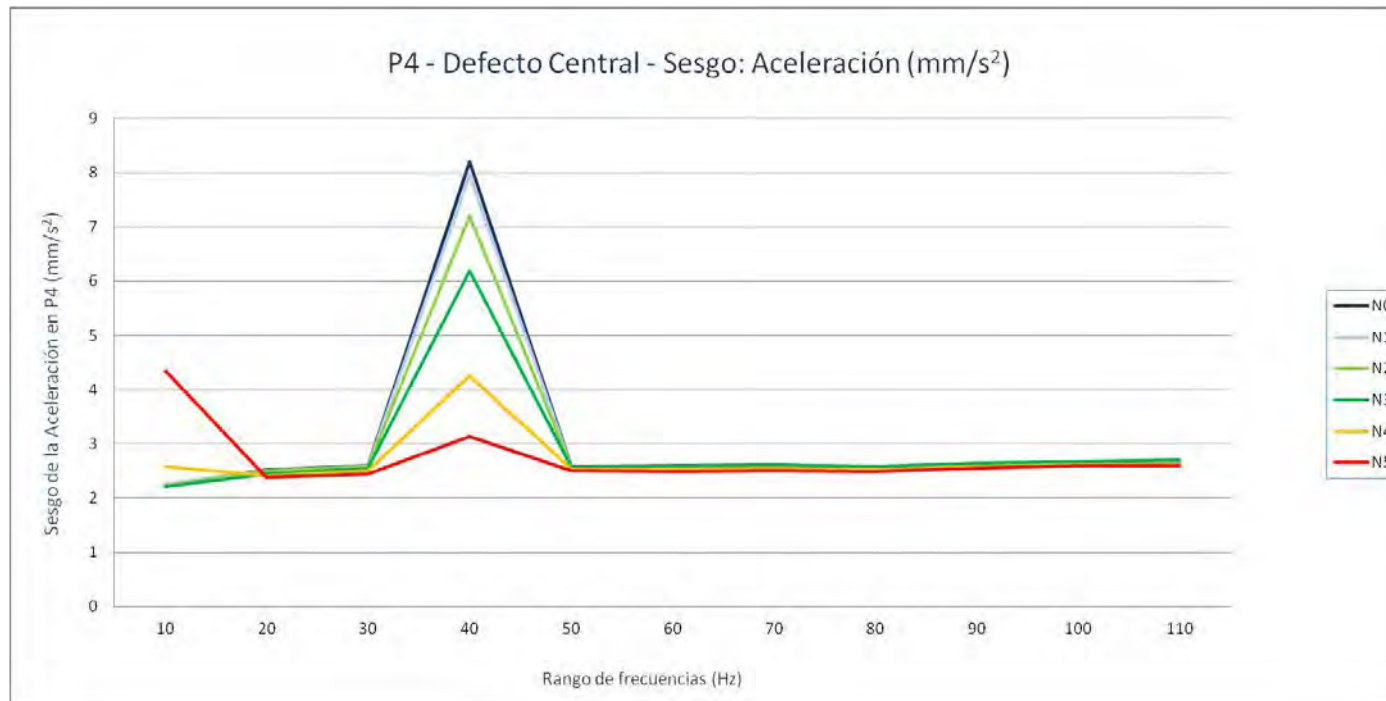
P4. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	7,77560037	9,41983141	9,93565331	88,1958842	9,69988053	9,89600167	9,92403115	9,58662613	9,8355092	10,1808745	10,3432344
N1	7,81692768	9,29822926	9,78518538	84,3683164	9,58783446	9,75875243	9,78884682	9,46439761	9,71764628	10,0679021	10,2227758
N2	7,65913863	9,3466006	9,81853843	72,2430355	9,59532434	9,77623431	9,80654552	9,46873846	9,69940015	10,011269	10,1409707
N3	7,35755385	8,90872178	9,65114266	56,8810273	9,71190548	9,86731592	9,94421726	9,6942389	10,1354574	10,5531083	10,792971
N4	9,70847032	8,67030924	9,28827717	29,0247568	9,45049652	9,49850358	9,57044343	9,319722	9,66077849	10,0050114	10,1263988
N5	23,3236731	8,40335779	8,87553838	15,2949924	9,29310884	9,23220136	9,31204513	9,13828695	9,56775856	9,94252839	9,96772604



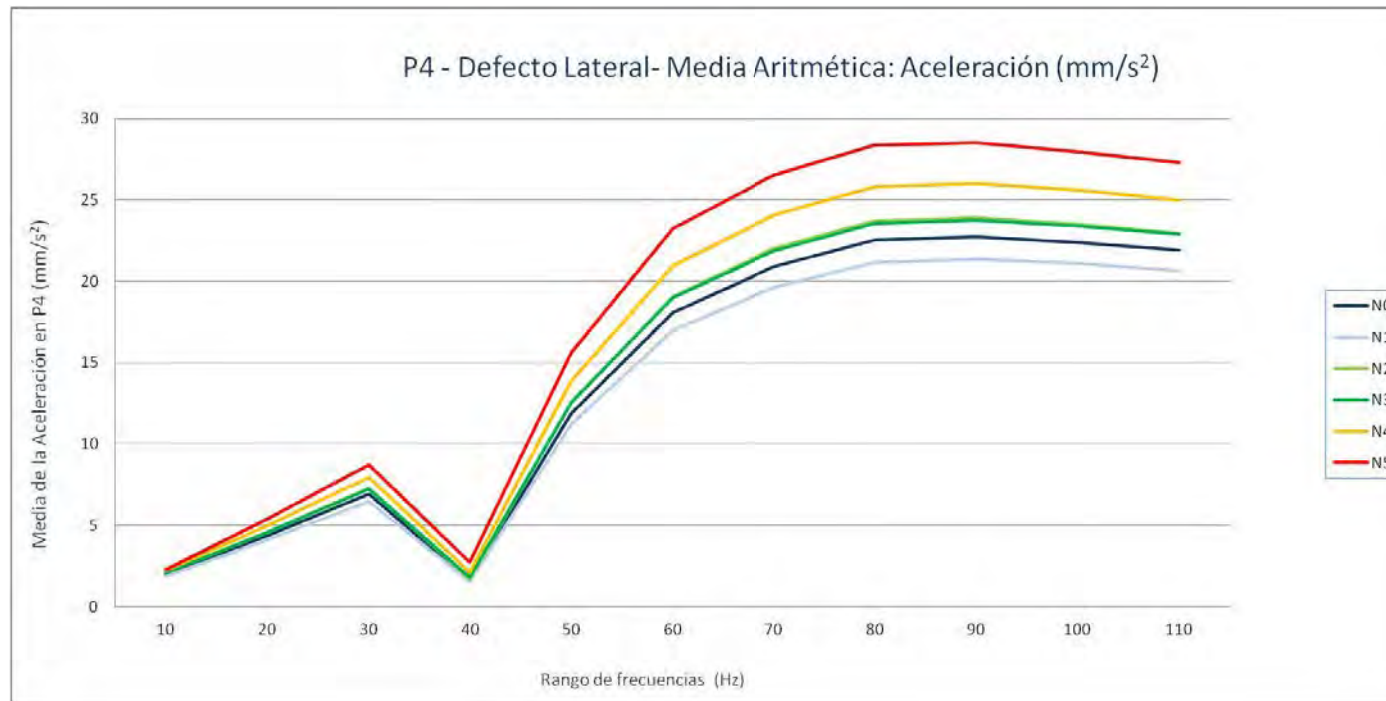
P4. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	2,24569358	2,51399748	2,59561905	8,19861529	2,58371966	2,60080917	2,61551553	2,5726774	2,61321146	2,65067184	2,66476705
N1	2,25200179	2,50096588	2,57876831	7,94889335	2,57013469	2,58513267	2,6001459	2,5586567	2,5991497	2,63660597	2,64964126
N2	2,23261898	2,50473222	2,58201313	7,20505494	2,56848016	2,5869093	2,60122937	2,55767849	2,59473154	2,62966305	2,64119094
N3	2,20638638	2,44086212	2,54749091	6,18785166	2,57382477	2,58537292	2,60553307	2,57600939	2,63810298	2,67900015	2,702449
N4	2,5790953	2,40727816	2,50024486	4,24868989	2,53618472	2,53713562	2,55678404	2,52644747	2,57491274	2,61267107	2,62228346
N5	4,34756203	2,3820029	2,43946757	3,12843322	2,50554571	2,4877058	2,51159972	2,4946381	2,54553996	2,59318987	2,59281658



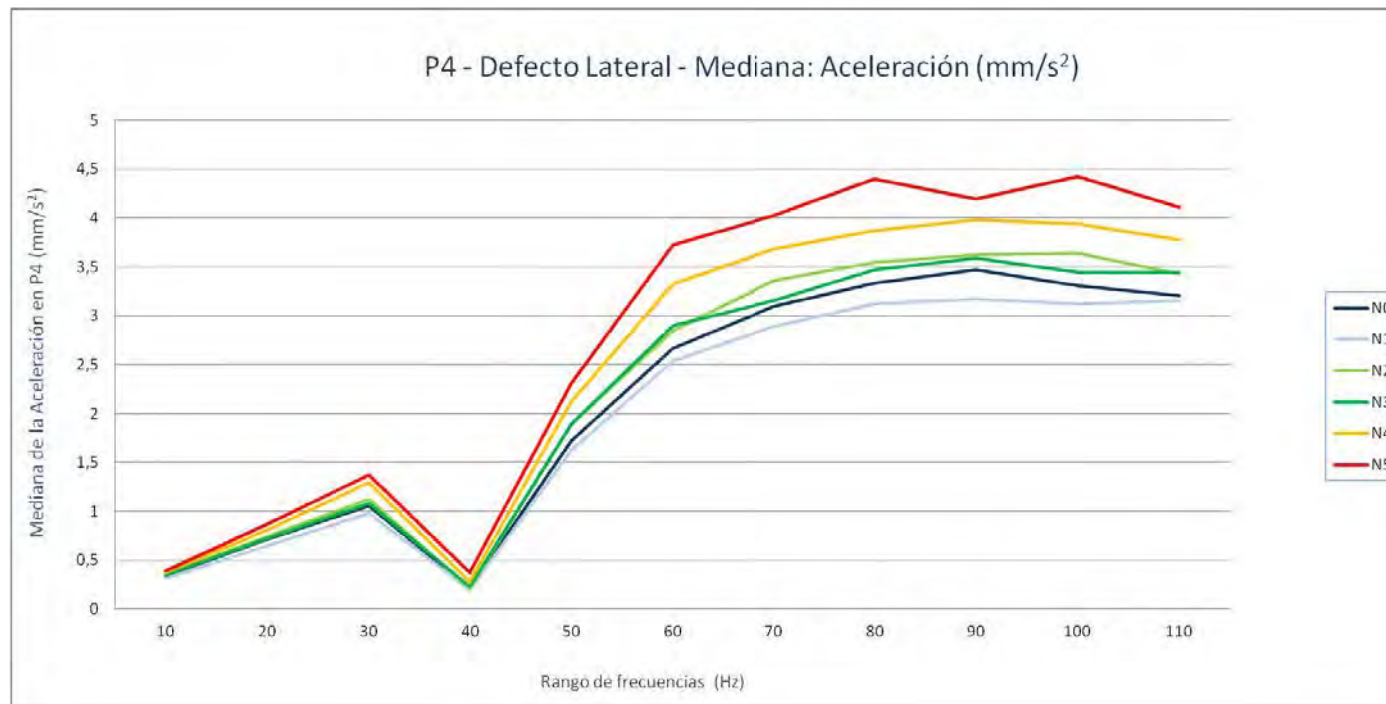
P4. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	1,99060001	4,37109768	6,90740718	1,61005202	11,9119697	18,0987244	20,8732473	22,5105475	22,7445361	22,4014666	21,9228267
N1	1,85402382	4,08835302	6,48105909	1,55698622	11,2177057	17,0246976	19,6064975	21,1637363	21,3581822	21,0967787	20,6340376
N2	2,08218534	4,59763722	7,26898913	1,69245261	12,5722436	19,0642438	22,0069452	23,7086861	23,913642	23,5305793	22,9533548
N3	2,04483017	4,55911038	7,22591844	1,78972181	12,5710862	19,021054	21,8850158	23,5618428	23,7754102	23,4043779	22,9044642
N4	2,20393283	4,9932829	7,9373092	2,09247884	13,8976835	20,9423083	24,0624896	25,8252823	26,0227583	25,5820441	24,9914571
N5	2,24645575	5,41582125	8,71909608	2,71017728	15,6284488	23,241091	26,5180227	28,3724824	28,5143578	27,9676747	27,3043107



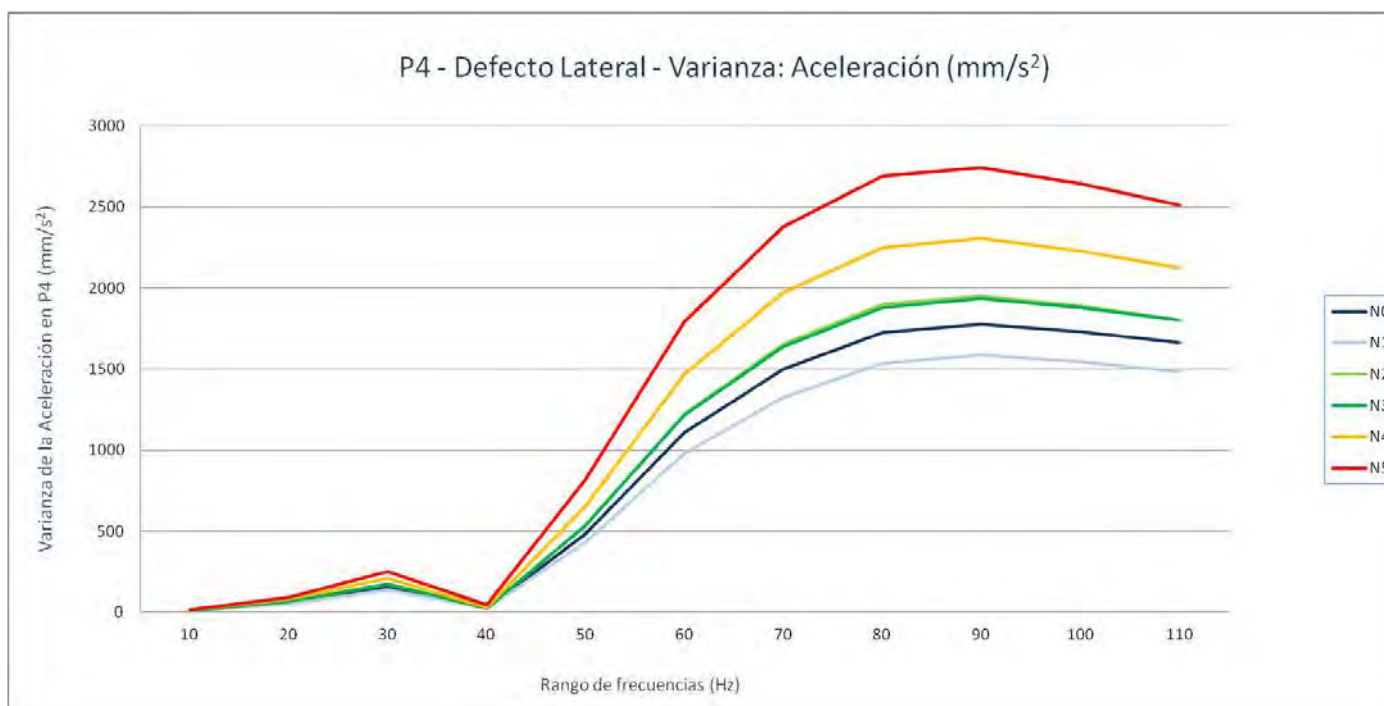
P4. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,343230942	0,711528351	1,052420471	0,208289848	1,719111511	2,669813477	3,09480603	3,334943481	3,468628418	3,311324463	3,202039063
N1	0,318246414	0,648613495	0,98330011	0,197305252	1,627860962	2,538464966	2,891443481	3,12192749	3,169973022	3,120331543	3,152585083
N2	0,354812607	0,73948288	1,122870544	0,215356949	1,888137512	2,845560547	3,357539063	3,548997925	3,624897583	3,642545532	3,426099487
N3	0,344421051	0,720818176	1,083104553	0,227375397	1,896291992	2,897145508	3,151063965	3,474130005	3,593516968	3,44633252	3,445744995
N4	0,374434509	0,809820984	1,294073975	0,278127014	2,121696045	3,326184082	3,684977051	3,875016113	3,981509033	3,936687012	3,777938965
N5	0,39012825	0,865609436	1,368070007	0,373677856	2,313093994	3,727187012	4,022045532	4,401011963	4,194481201	4,426055664	4,10914856



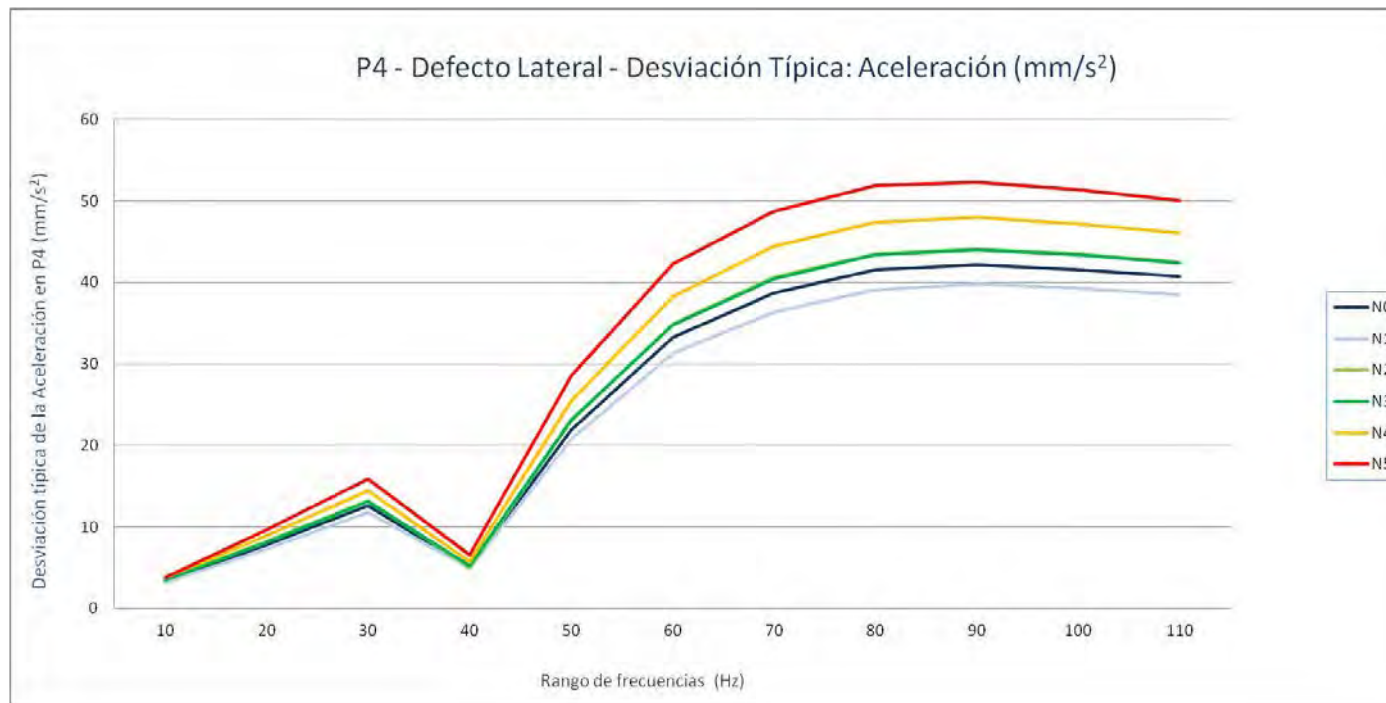
P4. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	11,4349421	61,1196239	159,000812	24,9595672	482,352192	1107,98431	1497,13584	1724,56444	1776,51906	1730,85476	1661,03234
N1	9,95130709	53,3113587	139,136959	24,330684	430,6316	980,501477	1323,10185	1533,9154	1587,3625	1544,34406	1485,7417
N2	12,6237724	67,6737379	175,870807	25,7108102	533,141281	1222,71128	1651,74863	1897,83933	1950,80243	1889,70366	1802,51603
N3	12,127867	66,2800621	173,407955	27,8929914	535,549707	1215,5936	1636,05935	1880,58275	1934,78932	1880,59112	1799,94613
N4	14,1557064	79,6888367	208,856145	32,6479166	650,995301	1467,45287	1970,80317	2250,15951	2303,4006	2230,42984	2124,86806
N5	14,8426008	93,3863633	250,867171	43,4848306	815,63444	1791,85806	2377,52428	2692,54482	2741,16124	2645,74608	2509,6666



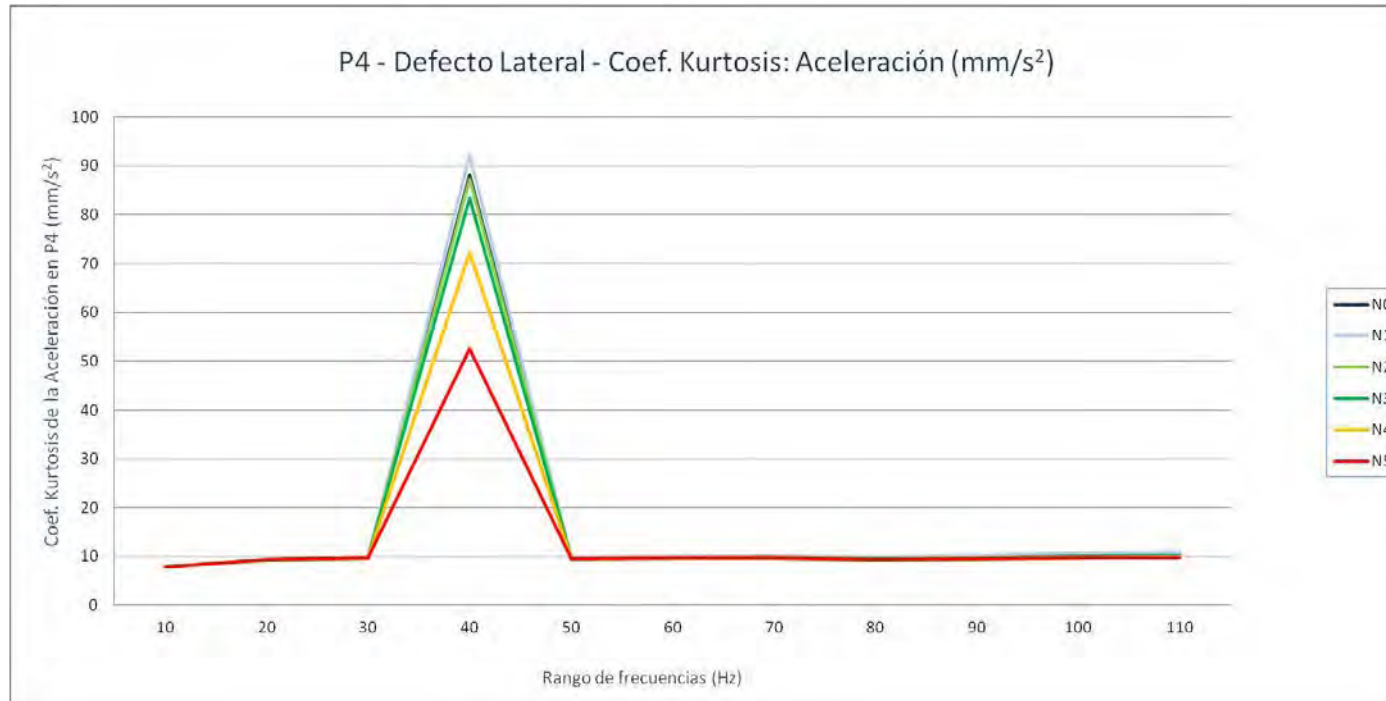
P4. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	3,381559124	7,817904062	12,60955241	4,995955083	21,96251789	33,28639831	38,6928397	41,52787547	42,1487729	41,60354268	40,75576454
N1	3,154569239	7,301462779	11,79563306	4,932614315	20,75166499	31,31296021	36,37446701	39,16523203	39,84171808	39,29814319	38,54532014
N2	3,552994845	8,22640492	13,26162913	5,070582823	23,08985233	34,96728866	40,64171044	43,56419786	44,16788913	43,47072193	42,45604818
N3	3,482508718	8,141256791	13,16844543	5,28138158	23,14194692	34,86536388	40,44823053	43,36568629	43,98624013	43,36578286	42,425772
N4	3,762406994	8,926860407	14,45185611	5,71383554	25,51460956	38,30734741	44,39372894	47,43584623	47,99375586	47,22742676	46,0962912
N5	3,852609606	9,663662002	15,83878693	6,594302891	28,55931442	42,33034441	48,75986339	51,88973711	52,35610033	51,43681634	50,09657277



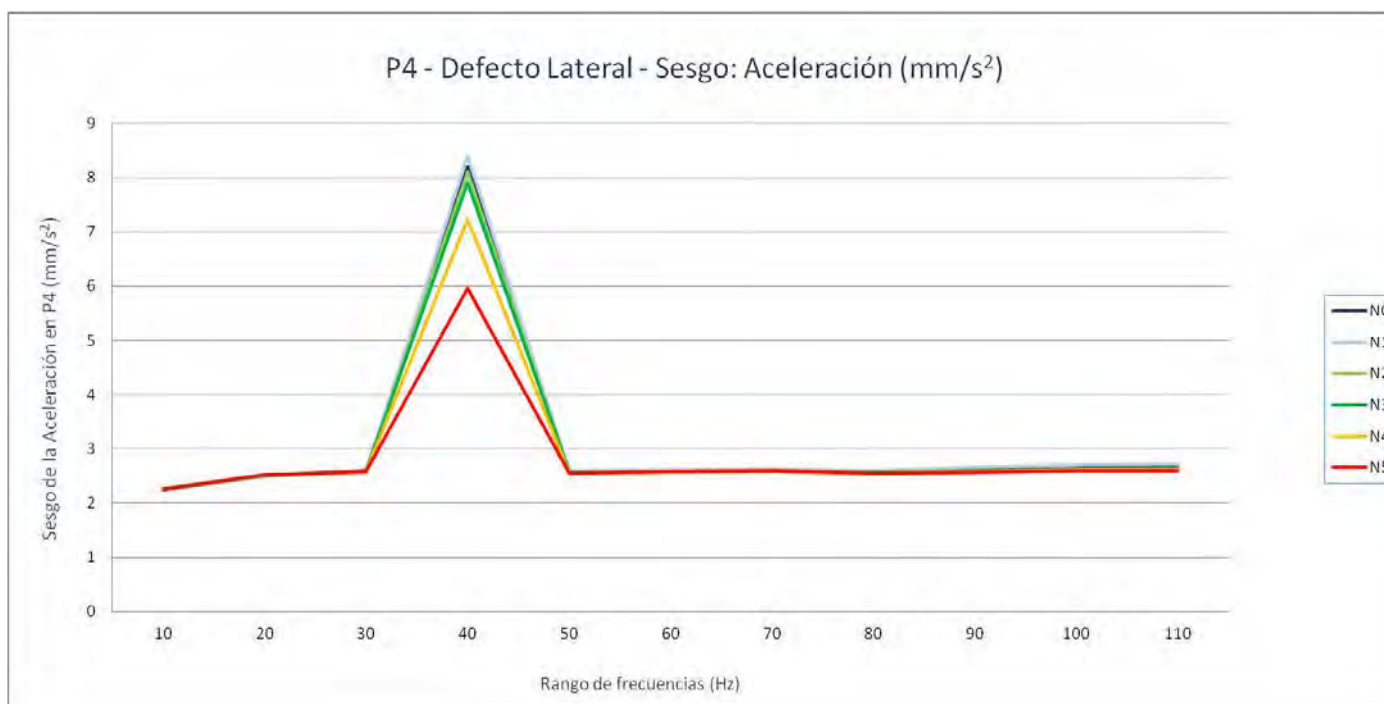
P4. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	7,77560037	9,41983141	9,93565331	88,1958842	9,69988053	9,89600167	9,92403115	9,58662613	9,8355092	10,1808745	10,3432344
N1	7,80693439	9,23733765	9,92062951	92,2780022	9,84075798	10,0394898	10,1222744	9,84346301	10,2224671	10,6889266	10,8916191
N2	7,92821045	9,26554791	9,61861737	87,3473615	9,38679565	9,52740221	9,59677597	9,27228519	9,4551663	9,70400707	9,74135739
N3	7,79807735	9,2918292	9,77979274	83,3740768	9,60494874	9,77133879	9,80729451	9,47961319	9,72301565	10,0552147	10,196671
N4	7,84469163	9,38036929	9,75826771	72,2611701	9,49150861	9,66468571	9,71708815	9,37427467	9,5350623	9,77546266	9,83437023
N5	7,78216946	9,43537038	9,76150525	52,5809078	9,46186397	9,63591078	9,70445094	9,36439756	9,4835008	9,6761388	9,70335927



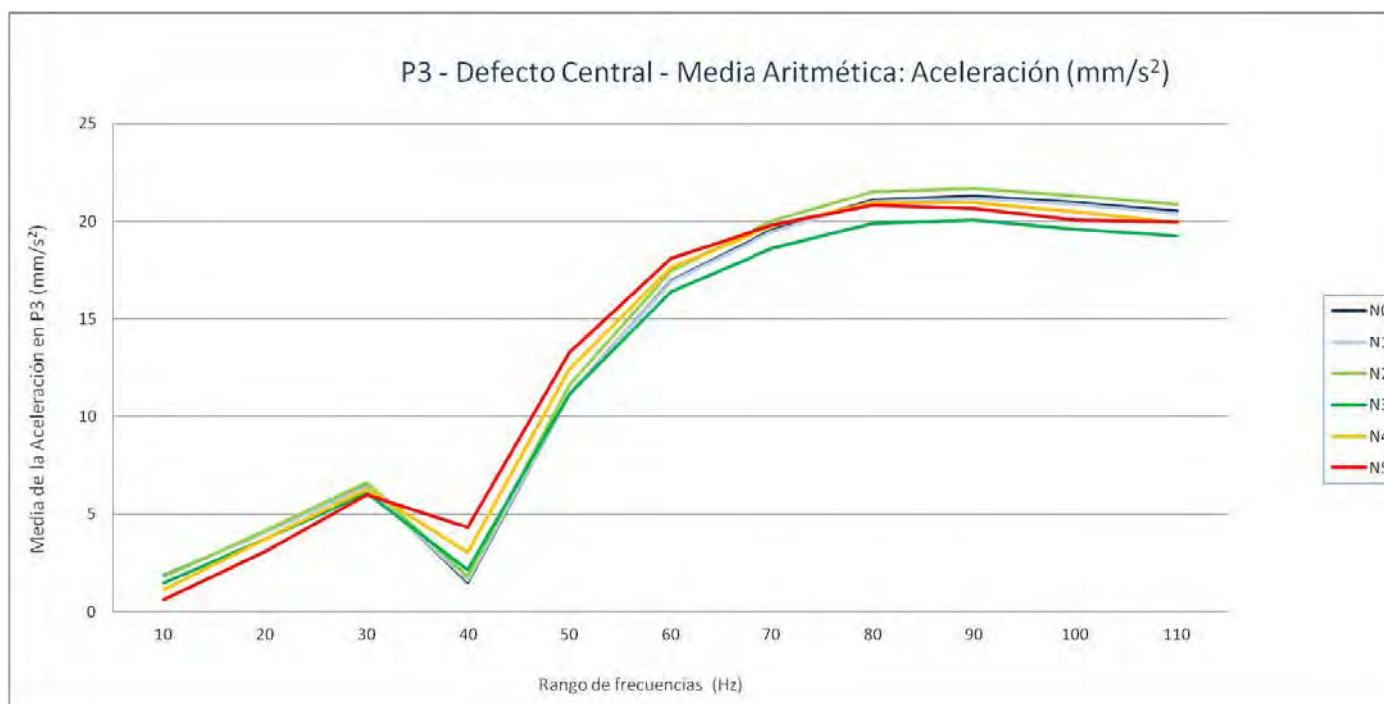
P4. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	2,24569358	2,51399748	2,59561905	8,19861529	2,58371966	2,60080917	2,61551553	2,5726774	2,61321146	2,65067184	2,66476705
N1	2,25075245	2,48690456	2,58591837	8,41107366	2,59940874	2,61191443	2,63293776	2,59986346	2,65621327	2,70259867	2,72080806
N2	2,27042801	2,50447871	2,56682561	8,11455787	2,54945346	2,56341694	2,58290296	2,54000542	2,57194267	2,59881914	2,59772487
N3	2,24931307	2,49925048	2,57769959	7,90730743	2,57138467	2,5864232	2,60201038	2,5599644	2,59936532	2,63496823	2,6471027
N4	2,25875289	2,51446025	2,58159779	7,22812542	2,55876681	2,57847566	2,59559591	2,55001205	2,57841458	2,60597898	2,60880561
N5	2,26206905	2,52123742	2,58208177	5,96066958	2,55328396	2,57495964	2,5935034	2,5475291	2,56953232	2,59327181	2,59302764



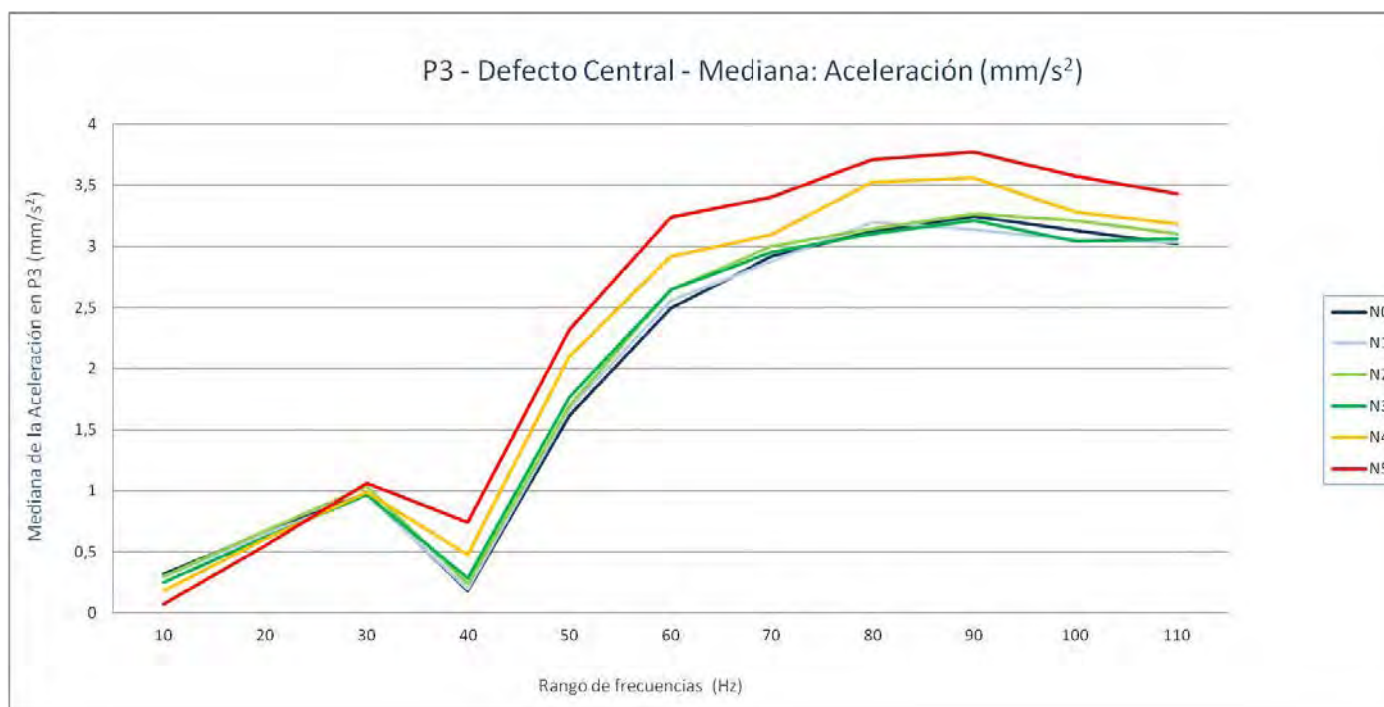
P3. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	1,86268242	4,08750984	6,46188662	1,51778348	11,1468866	16,9370501	19,5299189	21,0654934	21,2828354	20,9708882	20,5265781
N1	1,82734693	4,05557747	6,42861486	1,58039524	11,164868	16,9030337	19,4683552	20,9821901	21,1516905	20,8495135	20,3856312
N2	1,81087332	4,14177977	6,60682165	1,81023297	11,6261609	17,4748157	20,0256047	21,5026605	21,6684834	21,311611	20,8500754
N3	1,47839682	3,73399804	6,0706145	2,12779659	11,1511824	16,3735673	18,5958147	19,8914927	20,0407304	19,5962174	19,2392639
N4	1,11681529	3,70658196	6,30227704	3,05812995	12,4078069	17,6384887	19,7526781	20,9685016	20,9439677	20,4733021	19,9129433
N5	0,62823438	3,09819007	5,96683159	4,31346257	13,2597772	18,0893572	19,8014198	20,8080296	20,6666376	20,0485135	19,9922147



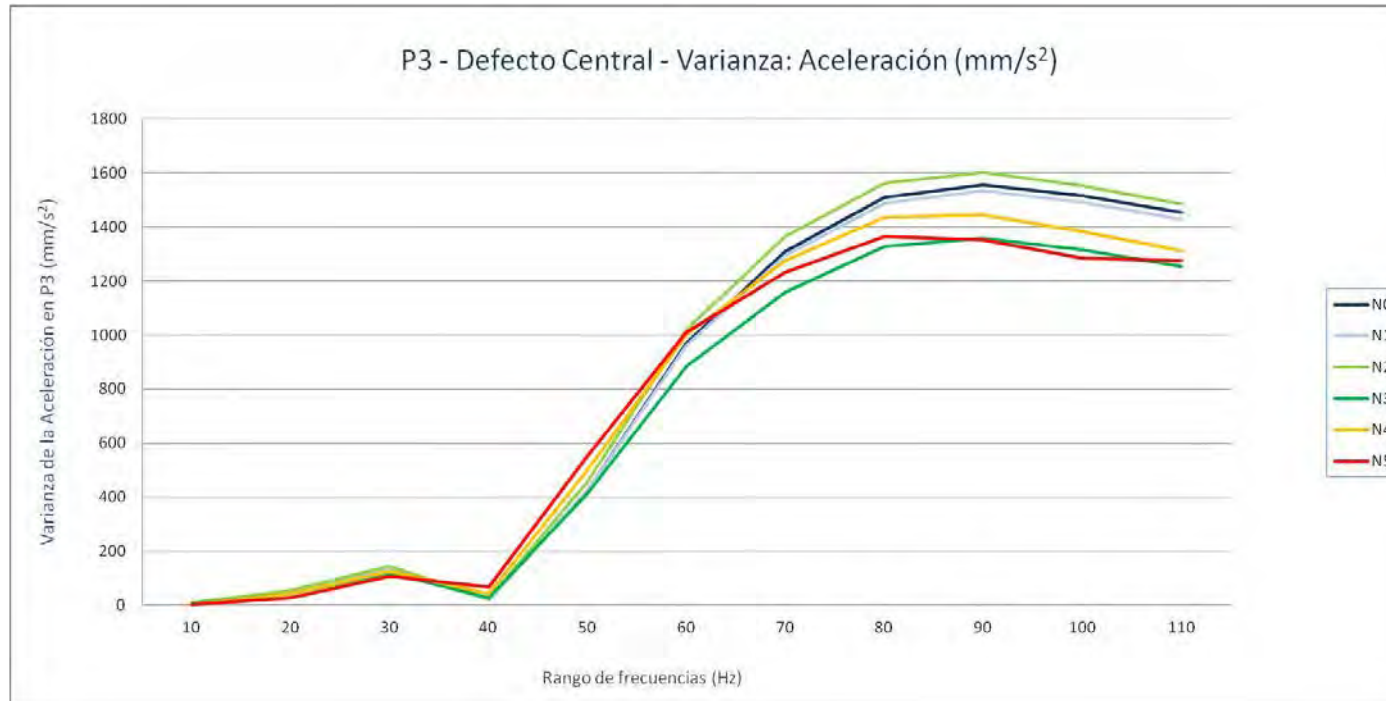
P3. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,32100679	0,663181885	0,978647797	0,185840446	1,613246948	2,497380981	2,91986499	3,122591064	3,244833008	3,130238403	3,024427002
N1	0,298143692	0,646631836	0,970564758	0,1946259	1,671705017	2,555650513	2,879827026	3,196388916	3,140039429	3,053906982	3,033651489
N2	0,296355453	0,671446045	1,037271973	0,235831696	1,698498535	2,646644043	3,002458496	3,144843018	3,268032471	3,214641968	3,107043457
N3	0,249939606	0,616671051	0,967895111	0,282902695	1,769455505	2,648123901	2,954778564	3,106825439	3,215967041	3,0406521	3,064687012
N4	0,185248993	0,604807983	0,991534119	0,474393188	2,099929932	2,917730957	3,098418945	3,529855957	3,560343018	3,280903076	3,187641113
N5	0,076578209	0,55463623	1,065739014	0,744380676	2,316729004	3,237091064	3,400686035	3,711156982	3,77023291	3,573228027	3,434501953



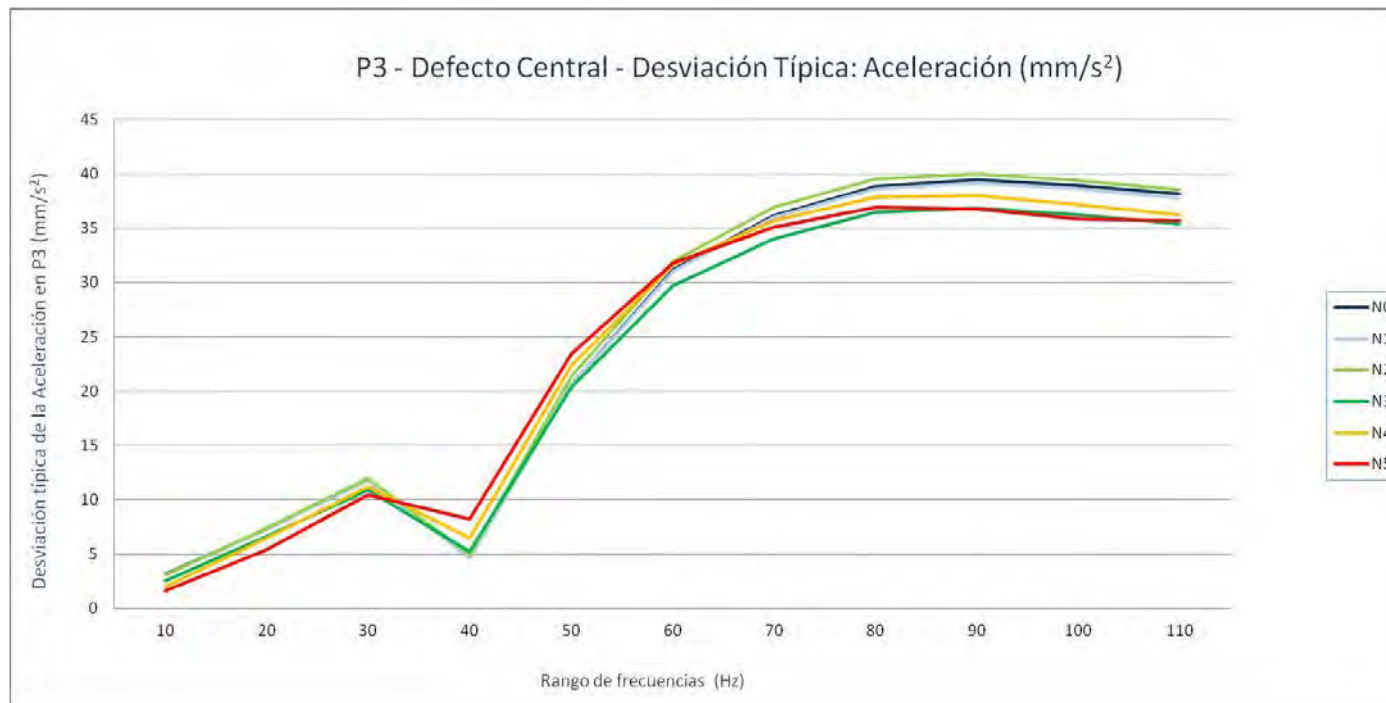
P3. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	10,0122177	53,5271696	139,252701	21,9247417	422,295305	970,088793	1310,54676	1509,94988	1555,7275	1515,62728	1454,6823
N1	9,68911946	52,6371833	137,445658	22,2387245	422,654184	961,977593	1294,46396	1489,43944	1533,59798	1490,48517	1428,95505
N2	9,49787567	54,6716343	144,378112	24,4925113	455,676414	1019,75598	1363,74178	1562,70382	1601,72792	1553,39788	1483,81523
N3	6,36561484	43,3777256	119,548699	27,7519787	413,060369	883,523744	1158,81462	1329,37416	1357,75855	1315,48464	1254,23651
N4	4,11994323	41,8814847	126,319905	41,6046773	498,022048	1001,40055	1275,7949	1435,55541	1446,1327	1383,3416	1311,82603
N5	2,59705614	28,9161071	108,915559	67,5600409	550,042185	1011,40126	1232,82801	1363,3583	1352,01013	1285,5097	1275,83265



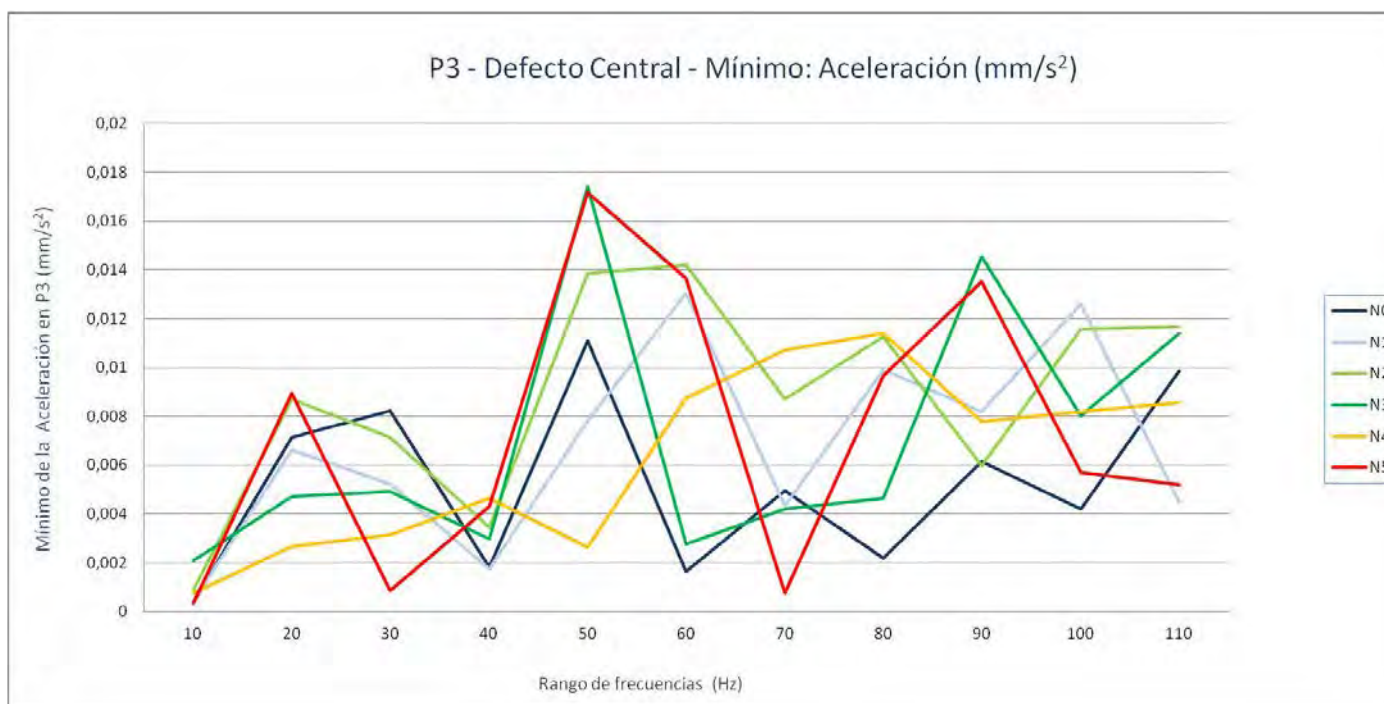
P3. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	3,164208857	7,316226462	11,80053815	4,682386324	20,54982495	31,14624846	36,20147461	38,8580736	39,44271164	38,931058	38,14029757
N1	3,112735044	7,255148745	11,723722	4,715795212	20,558555	31,01576362	35,97865983	38,59325646	39,16117951	38,60680215	37,80152177
N2	3,081862371	7,394026932	12,01574435	4,948990935	21,34657851	31,93361832	36,92887458	39,53104879	40,02159312	39,41316885	38,52032228
N3	2,523017011	6,586176854	10,93383278	5,268014687	20,32388665	29,7241273	34,04136633	36,46058366	36,84777538	36,26961048	35,41520167
N4	2,029764329	6,471590585	11,23921285	6,450168778	22,3164076	31,6449135	35,7182713	37,88872409	38,02805154	37,19330044	36,21913904
N5	1,611538439	5,37736991	10,43626173	8,219491526	23,45297818	31,80253548	35,11165069	36,92368212	36,7696903	35,85400535	35,71879969



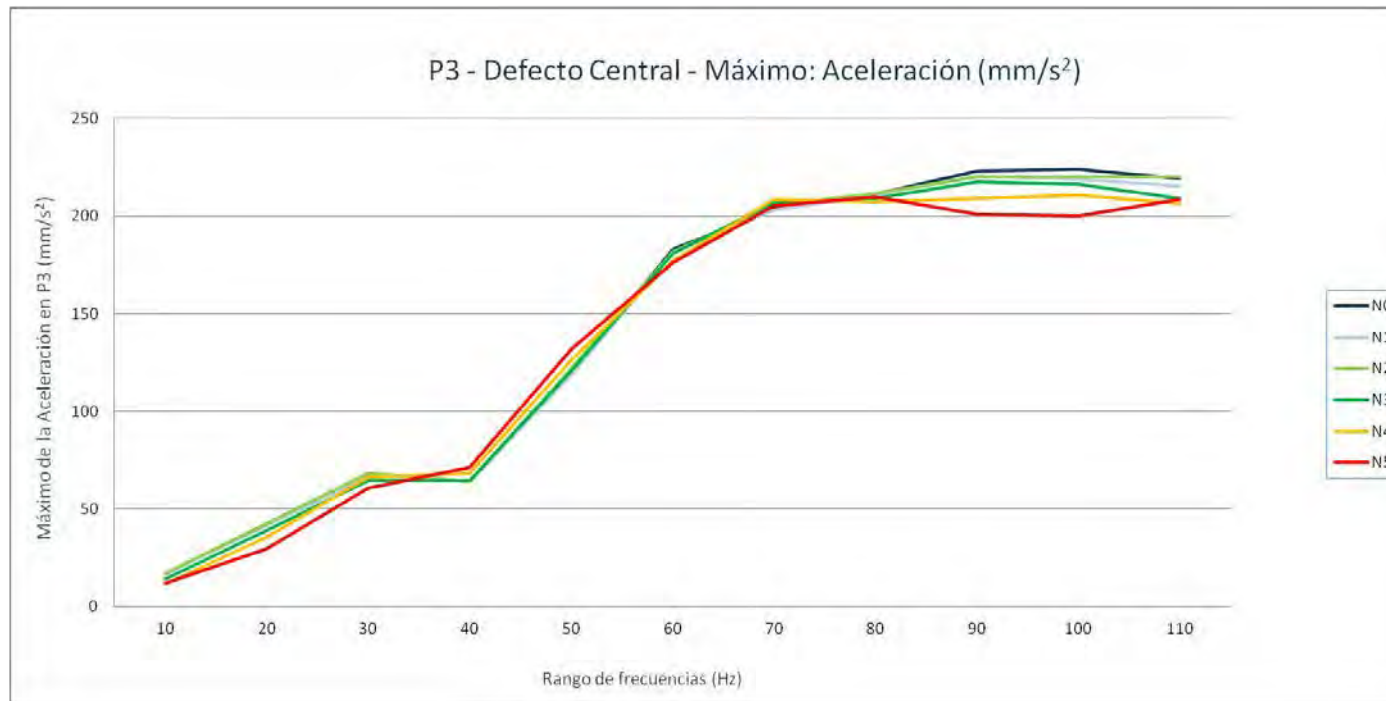
P3. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00039021	0,0071266	0,00821905	0,00180195	0,01109076	0,00163267	0,00494772	0,00220463	0,00615813	0,00420592	0,00985916
N1	0,00046606	0,00663724	0,00521062	0,0017487	0,00782466	0,01303339	0,00435216	0,0098891	0,00818831	0,01259156	0,00446569
N2	0,0008991	0,0087063	0,00712142	0,00344822	0,01387174	0,01420737	0,00868927	0,01126283	0,0059703	0,01158845	0,01169022
N3	0,00207268	0,00472367	0,00492177	0,00296789	0,01740816	0,0027581	0,00419314	0,00465771	0,01453725	0,00803747	0,01140005
N4	0,00075379	0,00266269	0,00315146	0,00463712	0,00263192	0,00874704	0,01072912	0,01140927	0,0077685	0,00817831	0,00857771
N5	0,00034438	0,00895329	0,00085892	0,00431947	0,01714988	0,01366914	0,00074079	0,00967147	0,01351258	0,00570708	0,00520107



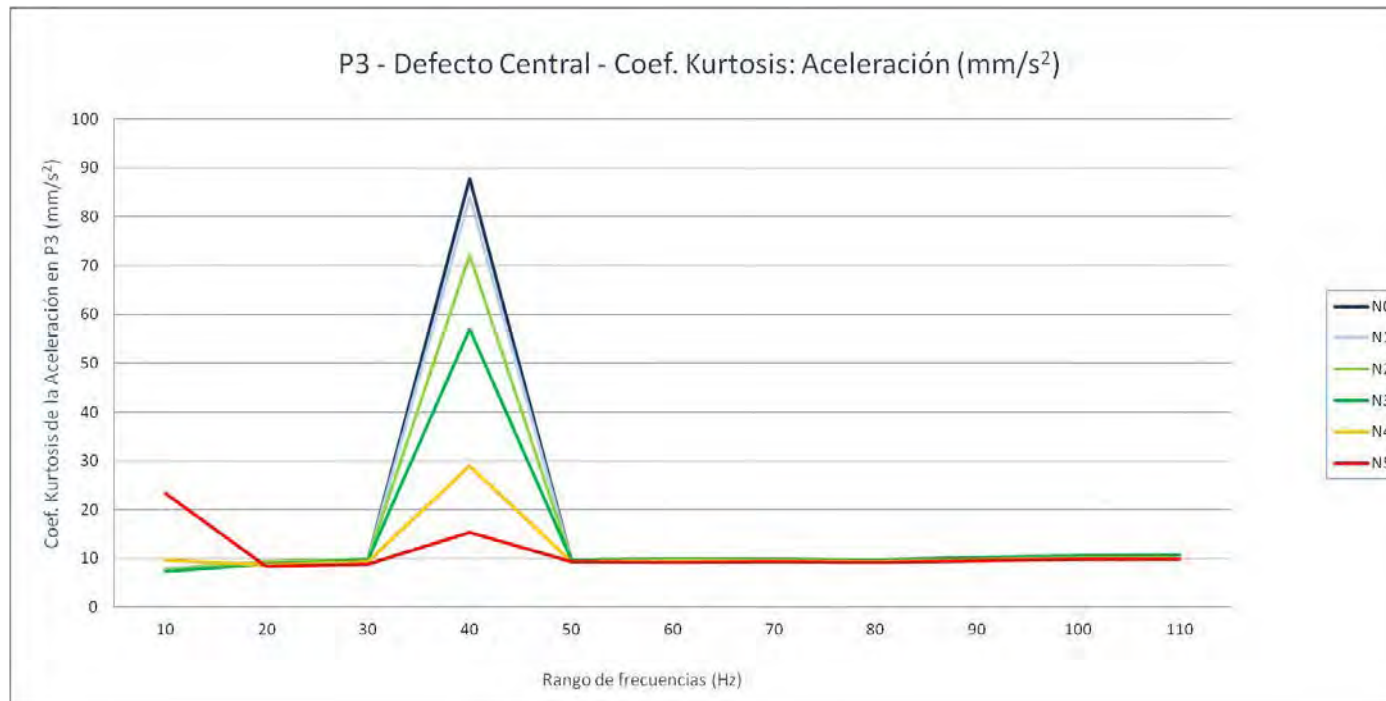
P3. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	16,7632598	42,1372188	67,9701172	64,0050195	119,692297	182,850094	203,5465	210,981203	223,105406	224,020906	219,180594
N1	16,8719492	41,3381992	66,6043516	63,9851289	118,647703	181,448297	203,036797	210,559	220,366906	218,909797	215,376406
N2	17,2016309	42,3571484	68,3949297	64,1955117	121,916398	181,927797	205,433906	211,5545	220,057094	220,187297	220,157297
N3	14,0677305	38,9720703	64,5807109	64,6683516	120,935	181,048297	206,956203	208,939906	217,573594	216,087594	208,872906
N4	11,5747998	35,6322109	66,0296094	68,2061406	126,181898	177,061797	208,8195	207,153594	209,059406	210,835297	206,582797
N5	12,0229297	29,4873301	60,7292617	71,3842891	131,702594	176,01	205,033297	209,698406	200,9465	200,124703	208,793297



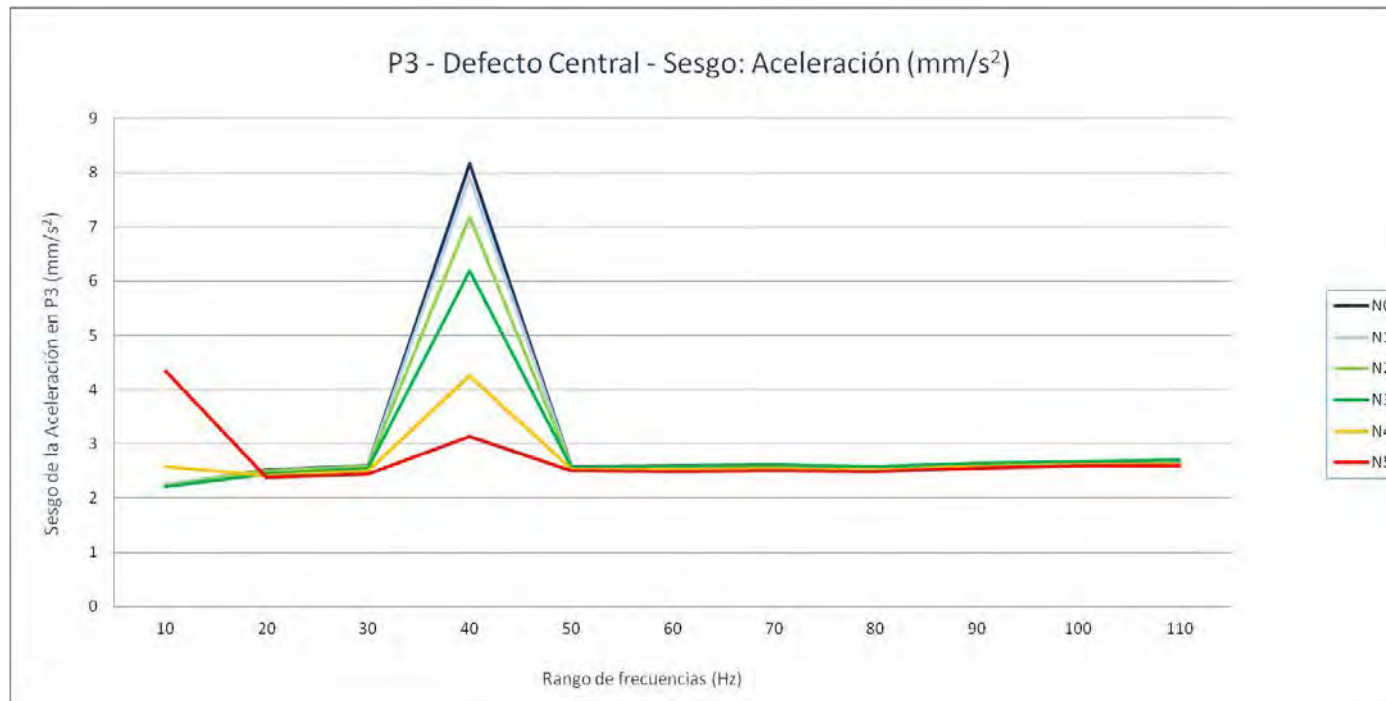
P3. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	7,77664908	9,41853051	9,93978282	87,8057096	9,70114053	9,89924779	9,92827438	9,59428862	9,84649833	10,1928633	10,3506226
N1	7,81996794	9,29667093	9,78783089	84,1688492	9,58810508	9,75961355	9,79172893	9,47169592	9,72756627	10,079537	10,2280366
N2	7,66370133	9,34765071	9,82245354	72,1243585	9,59647538	9,77803696	9,8104734	9,47575908	9,71081155	10,021527	10,1462811
N3	7,36399305	8,90821395	9,65469067	56,9199441	9,71443346	9,8693291	9,95070719	9,70790437	10,1547611	10,5723046	10,8031624
N4	9,70806191	8,67668456	9,29171192	29,0566372	9,45166478	9,49936398	9,5739818	9,33006292	9,6747723	10,0161275	10,1335068
N5	23,3041745	8,41258906	8,87896288	15,2971691	9,29148926	9,23151712	9,31542499	9,14804044	9,58038539	9,94614273	9,9646899



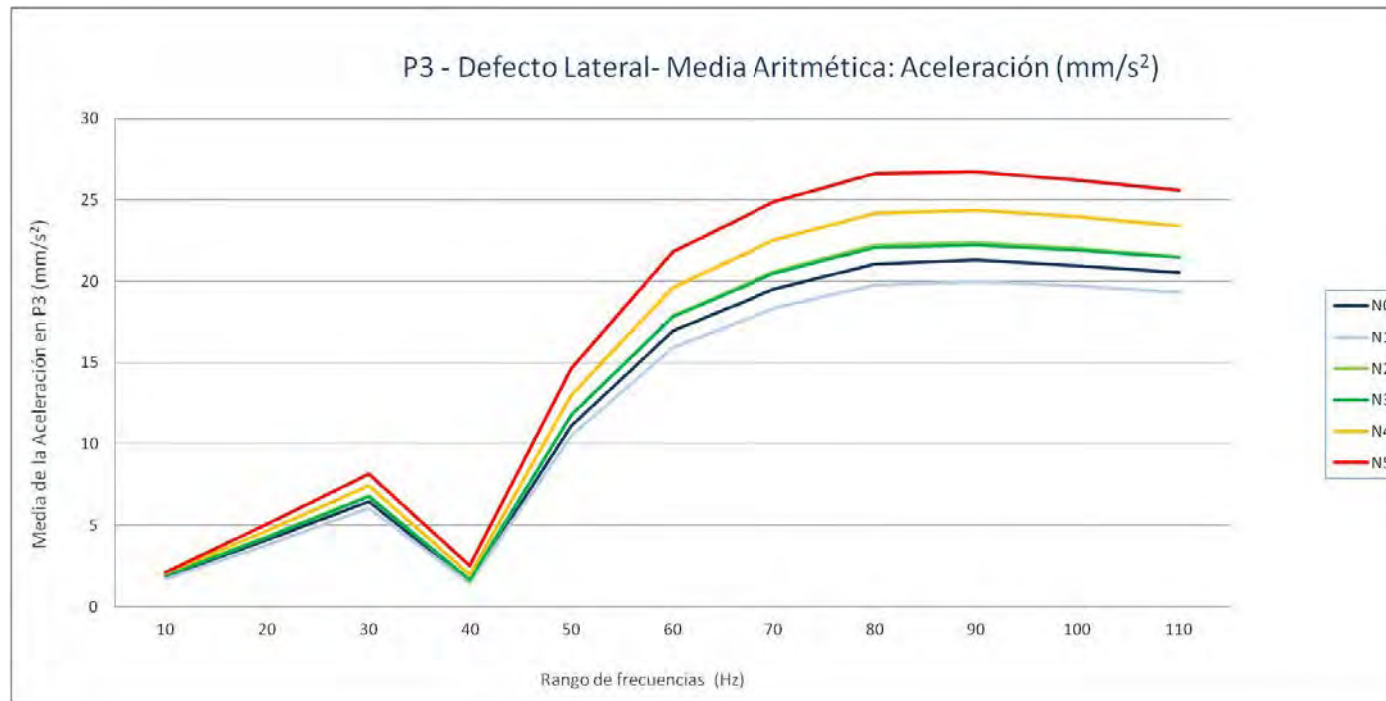
P3. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	2,24570134	2,51374586	2,59596111	8,16573332	2,58392912	2,60126058	2,61608924	2,57374535	2,61452959	2,65175395	2,66514687
N1	2,25229494	2,50072883	2,5790144	7,92785683	2,57022825	2,58536648	2,60059548	2,5597186	2,60036629	2,63781203	2,64982847
N2	2,23307266	2,50480213	2,58244195	7,18951459	2,56867296	2,58723535	2,60182499	2,55870743	2,59629146	2,63078846	2,64146484
N3	2,20706243	2,44063619	2,54769007	6,18460634	2,57408488	2,58566569	2,60631046	2,57770796	2,64029957	2,68095649	2,70306709
N4	2,57884285	2,40774205	2,50076481	4,2480294	2,53634959	2,53745915	2,55732803	2,52778252	2,57683544	2,61401024	2,62281768
N5	4,34460429	2,3829441	2,43974232	3,12739927	2,50541106	2,4878085	2,51209322	2,49600202	2,54714407	2,59355539	2,59240629



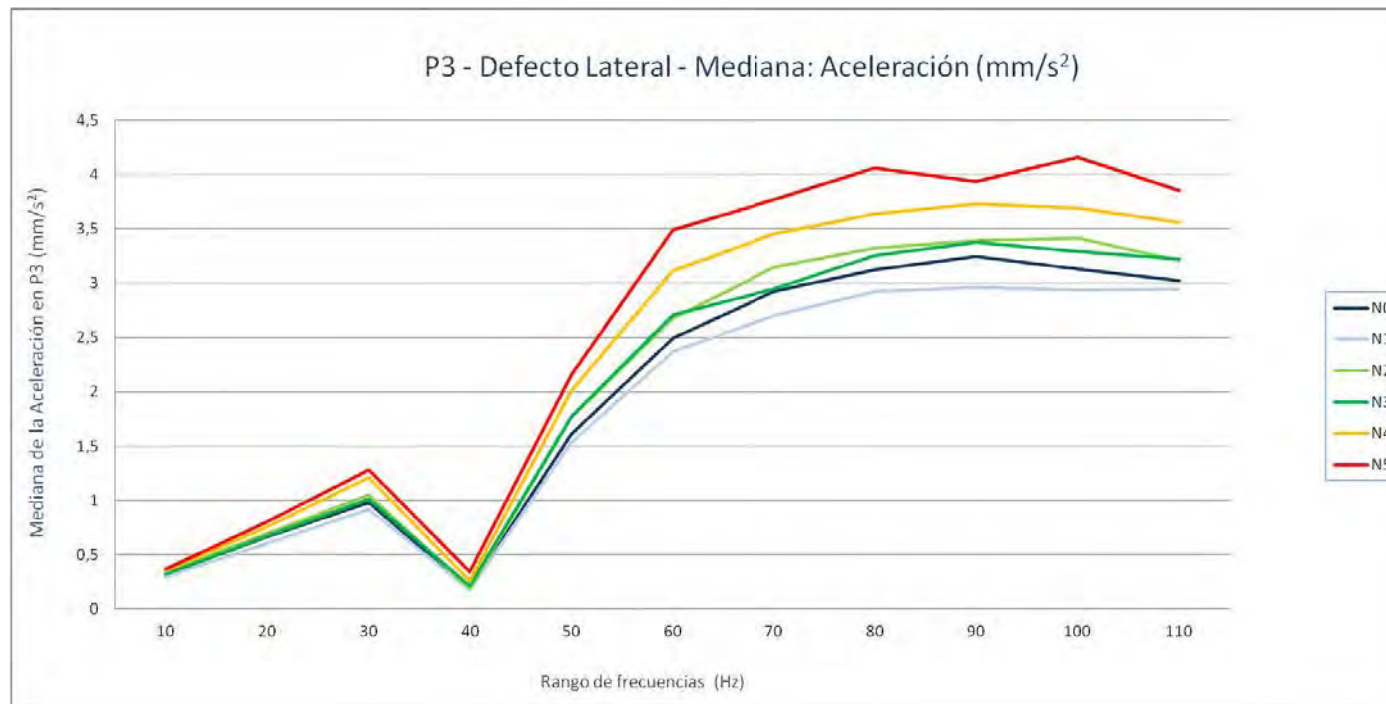
P3. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	1,86268242	4,08750984	6,46188662	1,51778348	11,1468866	16,9370501	19,5299189	21,0654934	21,2828354	20,9708882	20,5265781
N1	1,73275687	3,81906342	6,05597859	1,46361788	10,4855534	15,9136979	18,324319	19,7830482	19,9639227	19,7248531	19,2973331
N2	1,95010259	4,3037734	6,80639419	1,58612374	11,7746679	17,8557544	20,6109872	22,2075363	22,3947402	22,0382764	21,5017667
N3	1,91419229	4,26377972	6,76188888	1,67979269	11,7652433	17,8037015	20,4818046	22,0534886	22,2499625	21,9165002	21,445317
N4	2,06556024	4,67587888	7,43547294	1,96202051	13,0226712	19,6226277	22,5440287	24,1964608	24,3849072	23,9740645	23,4247079
N5	2,10795973	5,07701498	8,1772101	2,54328436	14,6598693	21,8001784	24,8718784	26,6138276	26,7469523	26,2398915	25,6159444



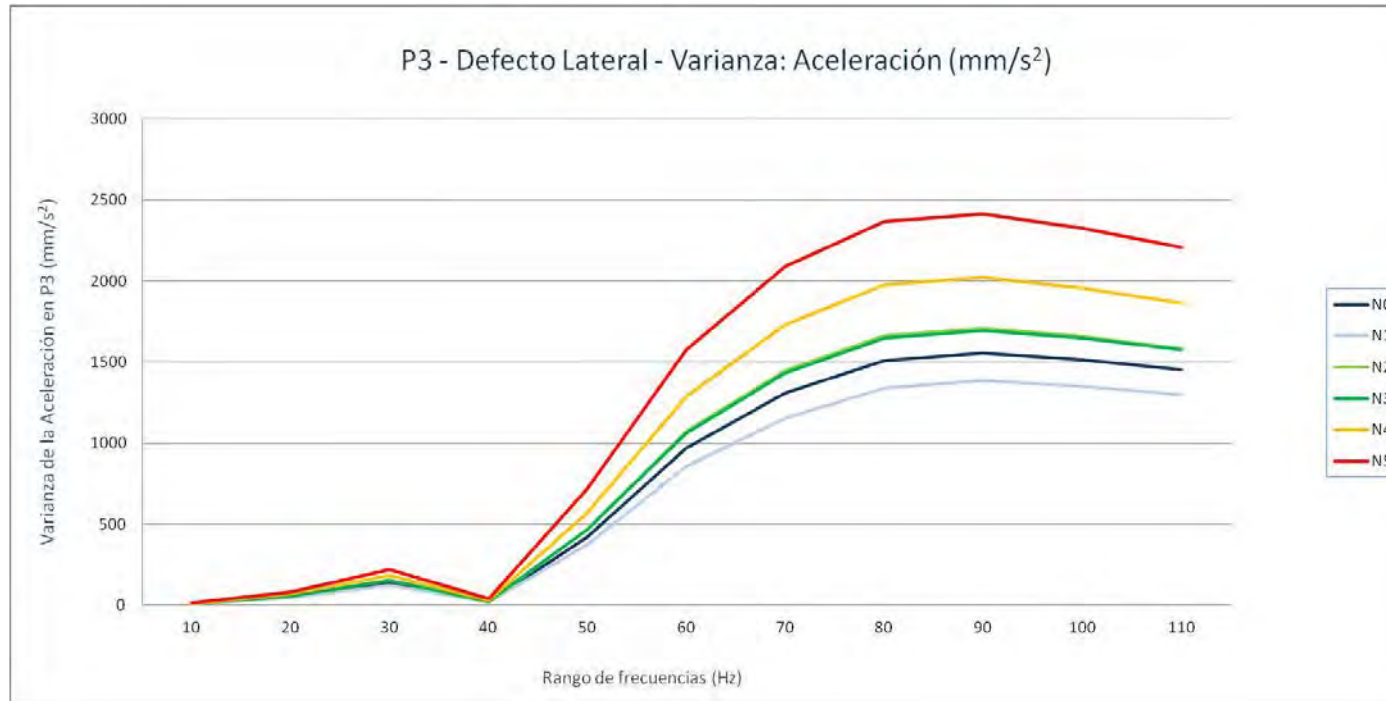
P3. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,32100679	0,663181885	0,978647797	0,185840446	1,613246948	2,497380981	2,91986499	3,122591064	3,244833008	3,130238403	3,024427002
N1	0,296361954	0,605802155	0,91738855	0,177843849	1,534723511	2,37268103	2,702776489	2,926435425	2,963436523	2,937482056	2,94614209
N2	0,334361954	0,695232635	1,0495755	0,1926577	1,766638489	2,680987915	3,147375977	3,32473291	3,394151978	3,412089478	3,209522949
N3	0,32236145	0,673088837	1,014280518	0,210896698	1,771724487	2,709505981	2,949453003	3,25720459	3,377714966	3,289105469	3,22279895
N4	0,351130707	0,757010193	1,21244397	0,259236694	2,009880005	3,116960938	3,453730957	3,634054932	3,732121094	3,687553955	3,559464111
N5	0,366131592	0,804058746	1,279460022	0,347557114	2,155421509	3,495219604	3,768952026	4,060489014	3,938583984	4,155922607	3,853786011



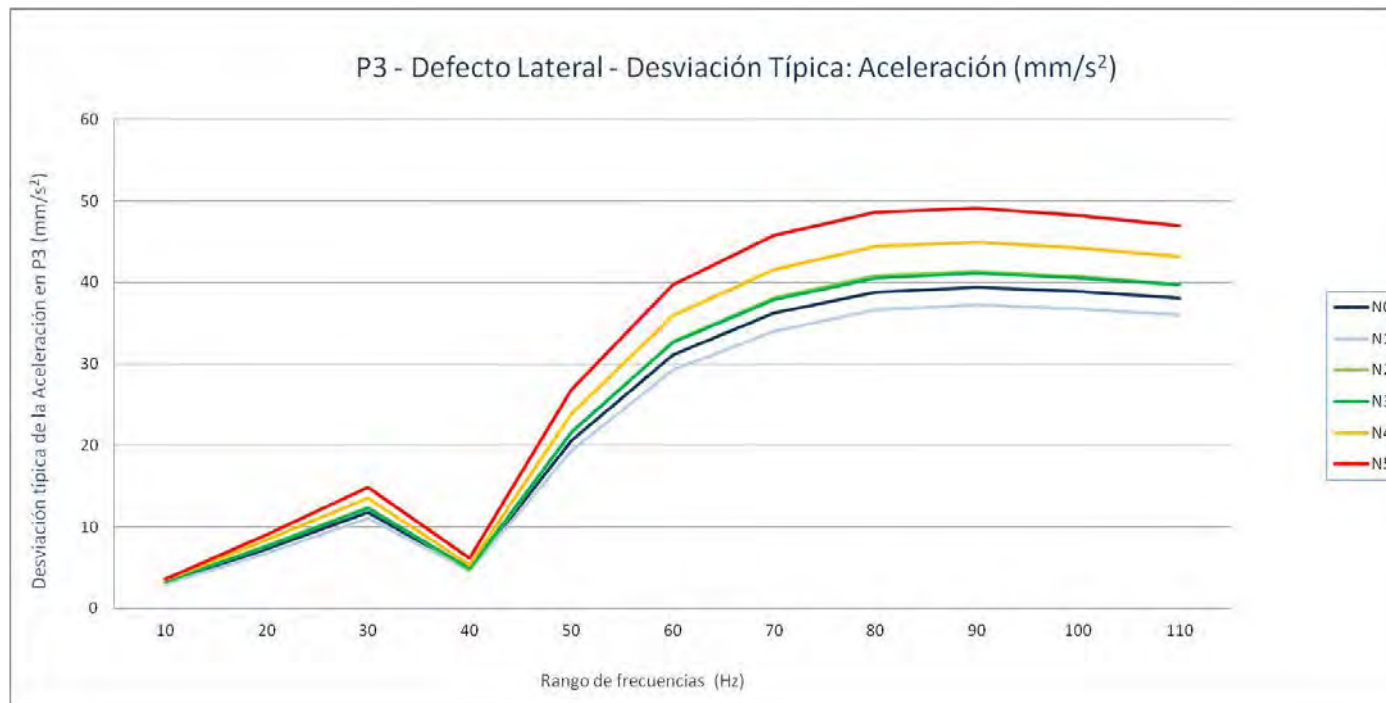
P3. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	10,0122177	53,5271696	139,252701	21,9247417	422,295305	970,088793	1310,54676	1509,94988	1555,7275	1515,62728	1454,6823
N1	8,69343214	46,5780691	121,582333	21,3220079	376,196903	856,65285	1155,80409	1340,3225	1387,17197	1349,33337	1297,98527
N2	11,0769595	59,3880855	154,326339	22,5359002	467,629667	1072,5685	1448,95052	1665,21365	1711,7168	1657,45818	1580,25439
N3	10,6240148	58,0721183	151,919778	24,4790987	469,081807	1064,77327	1432,88843	1647,39931	1695,09083	1646,96552	1576,49487
N4	12,4303768	69,9813153	183,411903	28,6682124	571,422855	1288,36113	1730,2223	1975,85311	2022,27642	1957,79972	1864,66497
N5	13,0655806	82,2020419	220,800657	38,2375324	717,505463	1576,70247	2092,00424	2369,36624	2411,89106	2327,36653	2207,48238



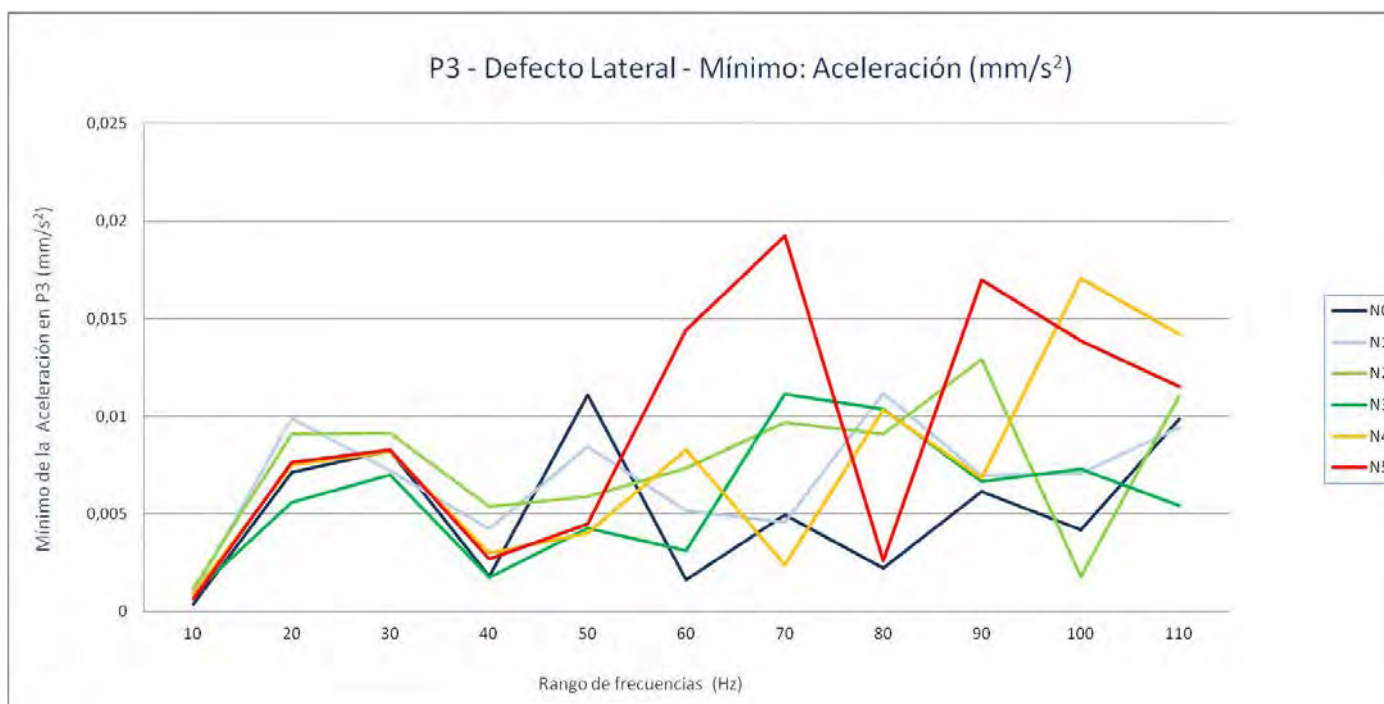
P3. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	3,164208857	7,316226462	11,80053815	4,682386324	20,54982495	31,14624846	36,20147461	38,8580736	39,44271164	38,931058	38,14029757
N1	2,948462673	6,824812749	11,02643793	4,617575974	19,39579601	29,26863253	33,99711885	36,61041517	37,24475761	36,73327339	36,02756258
N2	3,328206652	7,706366558	12,42281525	4,747199194	21,62474664	32,75009166	38,06508263	40,80702948	41,37289933	40,71189241	39,75241368
N3	3,259450078	7,620506432	12,32557415	4,947635671	21,6582965	32,63086374	37,85351284	40,58816715	41,17148076	40,582823	39,70509875
N4	3,52567395	8,365483566	13,54296509	5,354270482	23,90445261	35,89374772	41,59594089	44,45056926	44,96972787	44,24703066	43,18176664
N5	3,614634225	9,06653417	14,8593626	6,183650414	26,78629245	39,70771297	45,73843284	48,67613627	49,11100756	48,24278732	46,98385229



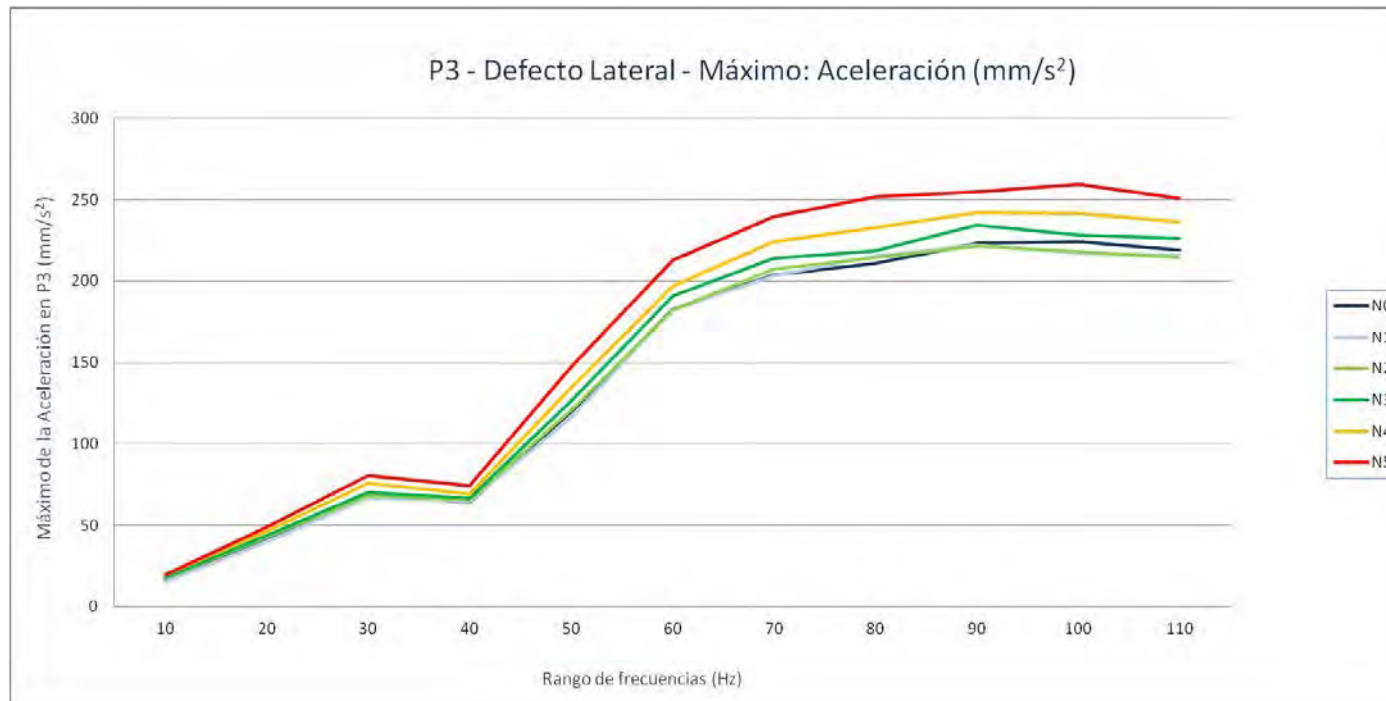
P3. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,00039021	0,0071266	0,00821905	0,00180195	0,01109076	0,00163267	0,00494772	0,00220463	0,00615813	0,00420592	0,00985916
N1	0,00094217	0,00989181	0,0072074	0,00423641	0,00844671	0,00518363	0,00457986	0,01119769	0,00694776	0,00709698	0,00944609
N2	0,00120733	0,00910017	0,00913164	0,00538167	0,00587526	0,00734643	0,00968728	0,00907801	0,01293508	0,00179242	0,01105281
N3	0,00093698	0,00560256	0,00701411	0,00177096	0,0042619	0,00313044	0,01115327	0,0103605	0,00667753	0,00728508	0,00540491
N4	0,0008829	0,007504	0,00821248	0,00297348	0,00400931	0,00826943	0,00241045	0,01031904	0,00681222	0,01706488	0,01421633
N5	0,00066257	0,00762237	0,00828185	0,00269749	0,0044732	0,01443112	0,01923608	0,00261608	0,01698514	0,01387736	0,01151016



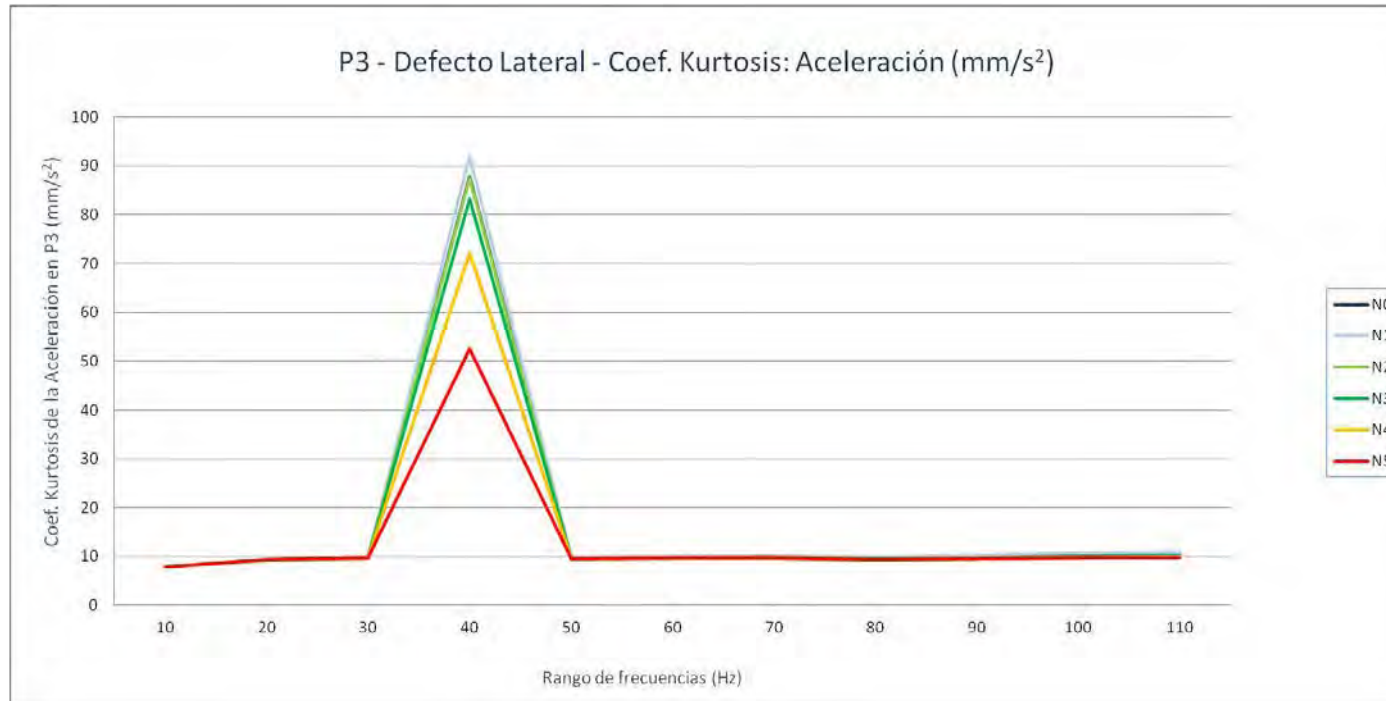
P3. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	16,7632598	42,1372188	67,9701172	64,0050195	119,692297	182,850094	203,5465	210,981203	223,105406	224,020906	219,180594
N1	15,6590498	39,6743398	66,7229297	64,7544102	116,305398	182,312094	203,3735	215,717	222,134406	216,987094	215,975203
N2	17,6077305	42,7328906	68,1208594	65,6731875	120,928203	182,425406	207,329297	214,479594	221,880594	218,041906	214,427406
N3	17,8460293	43,4166094	70,2698672	66,6691875	126,261602	190,769594	213,8495	218,6995	234,2165	228,117203	226,183297
N4	19,5768594	46,3925508	75,6203984	69,0617266	134,647203	197,142703	224,4055	233,103594	242,254	241,470906	236,562797
N5	19,6036309	48,5263398	80,4787266	74,2693516	147,292	212,920594	239,440906	251,699703	254,736297	259,566203	250,760297



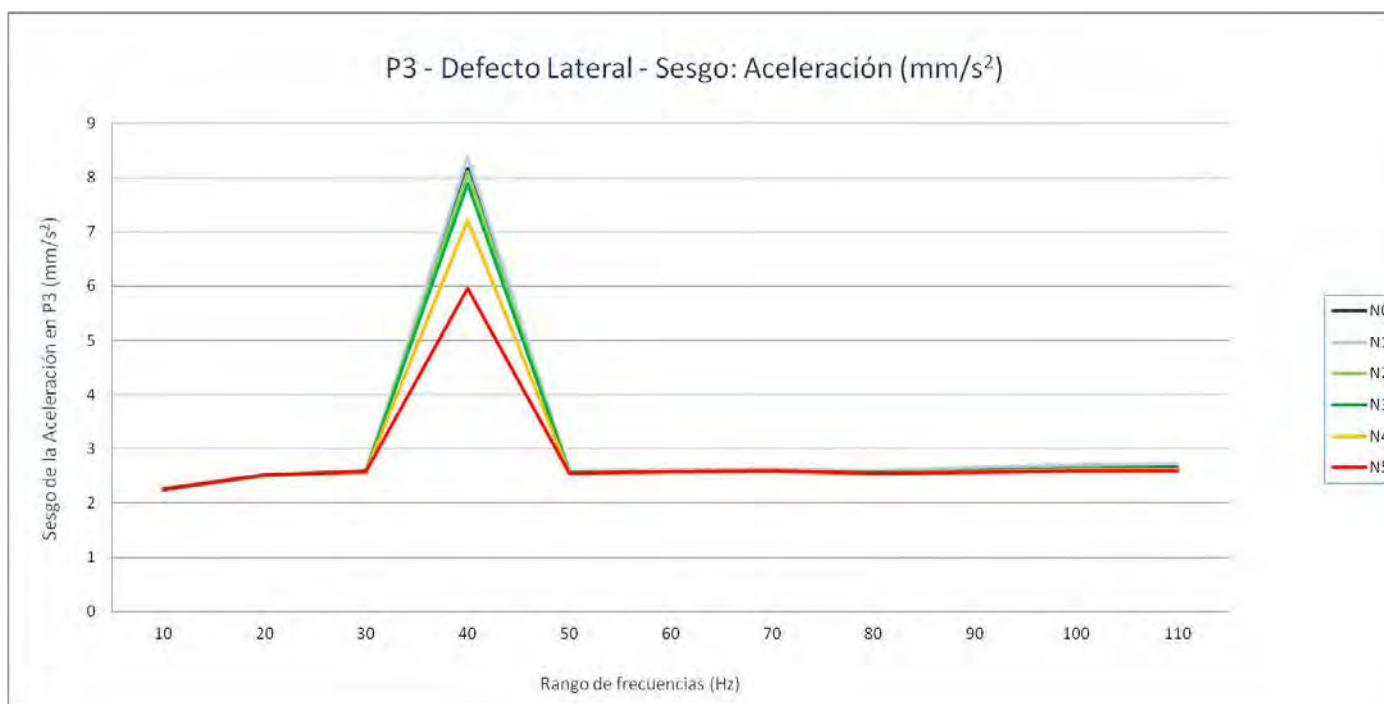
P3. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	7,77664908	9,41853051	9,93978282	87,8057096	9,70114053	9,89924779	9,92827438	9,59428862	9,84649833	10,1928633	10,3506226
N1	7,80780837	9,23428574	9,92518704	92,0771611	9,84406954	10,0428739	10,1291673	9,85666249	10,2415873	10,7081998	10,9054281
N2	7,93155344	9,26469222	9,61958469	87,4920446	9,38424892	9,52568632	9,59813188	9,27679506	9,46143941	9,70864048	9,7412851
N3	7,80038944	9,28854206	9,78277925	83,1970142	9,6036061	9,77240055	9,81027332	9,48531292	9,73053298	10,0637009	10,1981235
N4	7,84849479	9,3808263	9,76132151	72,203107	9,48974728	9,66581579	9,72017378	9,37814534	9,5406442	9,77825243	9,83274237
N5	7,78860879	9,43863035	9,76665343	52,520698	9,46047311	9,6393298	9,70945748	9,36932713	9,48773023	9,67782114	9,69974765



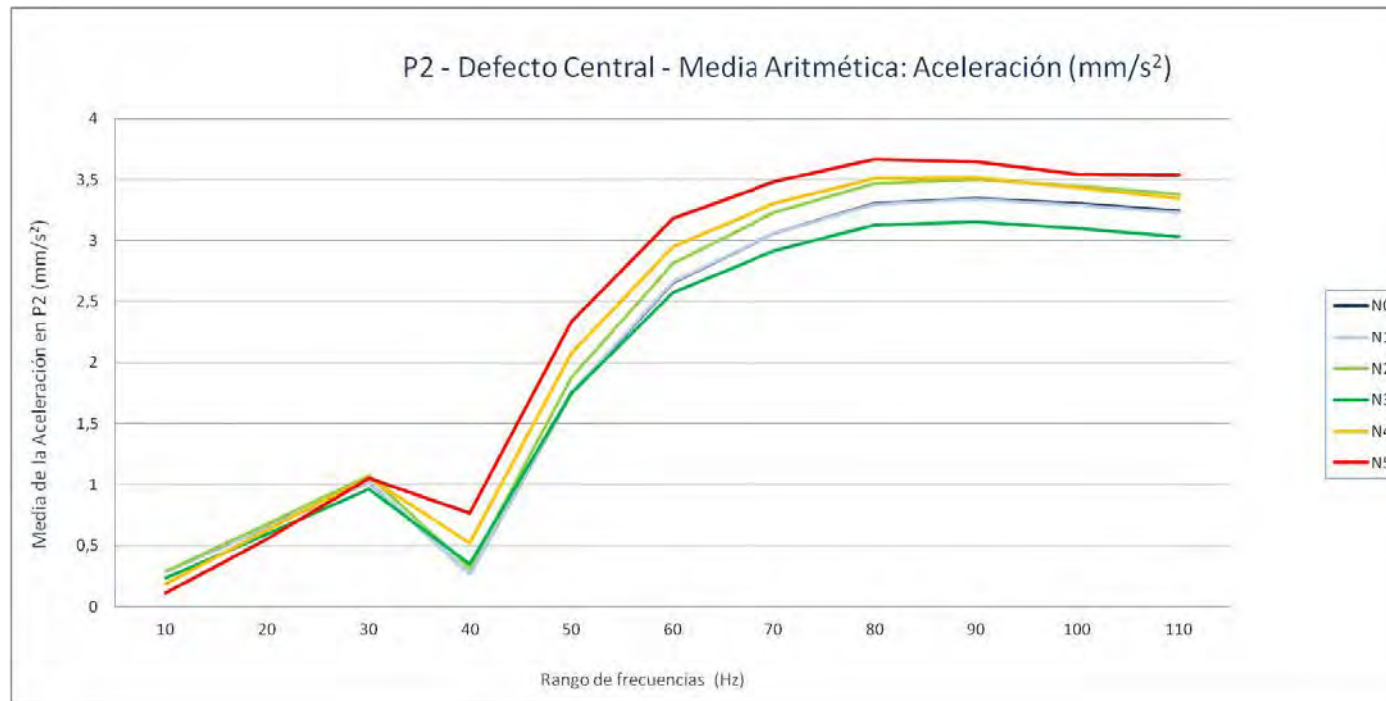
P3. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	2,24570134	2,51374586	2,59596111	8,16573332	2,58392912	2,60126058	2,61608924	2,57374535	2,61452959	2,65175395	2,66514687
N1	2,25073529	2,48644366	2,58620755	8,39030155	2,59983984	2,61234299	2,63373594	2,60147562	2,6583322	2,70433704	2,72182616
N2	2,27082909	2,50444417	2,56699456	8,11350119	2,54927744	2,56343944	2,5832596	2,54081607	2,57291037	2,59938588	2,59774251
N3	2,24948626	2,49877027	2,57798264	7,88839958	2,57125187	2,58663901	2,6024509	2,56078296	2,6002749	2,63584687	2,6468584
N4	2,25916901	2,51450591	2,58199574	7,21732658	2,55862642	2,57877282	2,59612568	2,5506692	2,57925122	2,60633516	2,60847623
N5	2,26289482	2,52164611	2,58282196	5,95201603	2,55317943	2,57556718	2,59429302	2,54832639	2,57020573	2,5935142	2,59244201



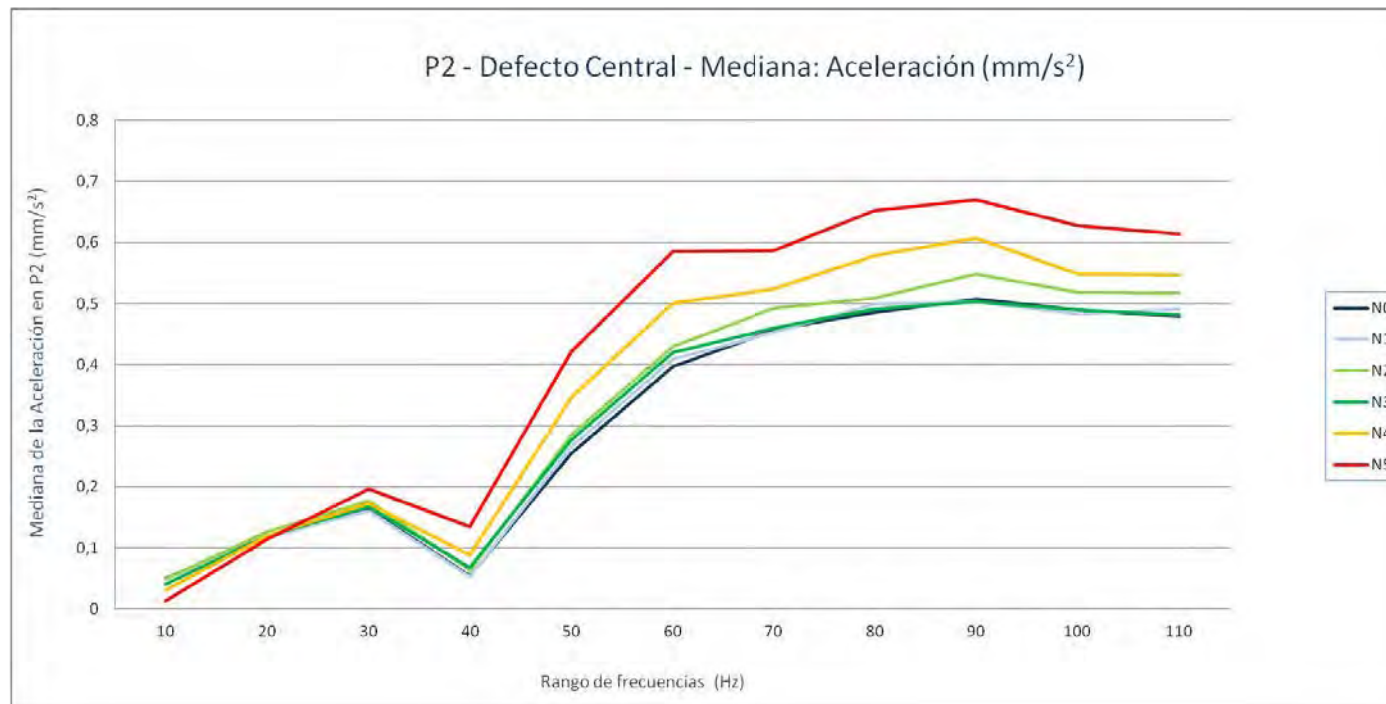
P2. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,29225665	0,65212344	1,02233772	0,26710738	1,74931848	2,65984191	3,06035868	3,30185839	3,34527262	3,30762768	3,24355718
N1	0,28786862	0,64831808	1,01865066	0,27065837	1,75791894	2,66218195	3,05896936	3,29669373	3,33777837	3,29051315	3,22709565
N2	0,29234017	0,6801234	1,07349562	0,31390633	1,87729905	2,81699491	3,22648645	3,46804471	3,50413044	3,44933023	3,3778212
N3	0,2327088	0,59954207	0,96190031	0,35383937	1,75180927	2,57173309	2,91861357	3,1278097	3,1546576	3,0981949	3,03434353
N4	0,1877539	0,62925464	1,06076724	0,52320856	2,07644187	2,9529007	3,30401945	3,50812895	3,51411668	3,43706911	3,34756182
N5	0,11155904	0,55692284	1,05577095	0,7669123	2,33612969	3,18413076	3,48480654	3,66616507	3,64276166	3,54408084	3,53355479



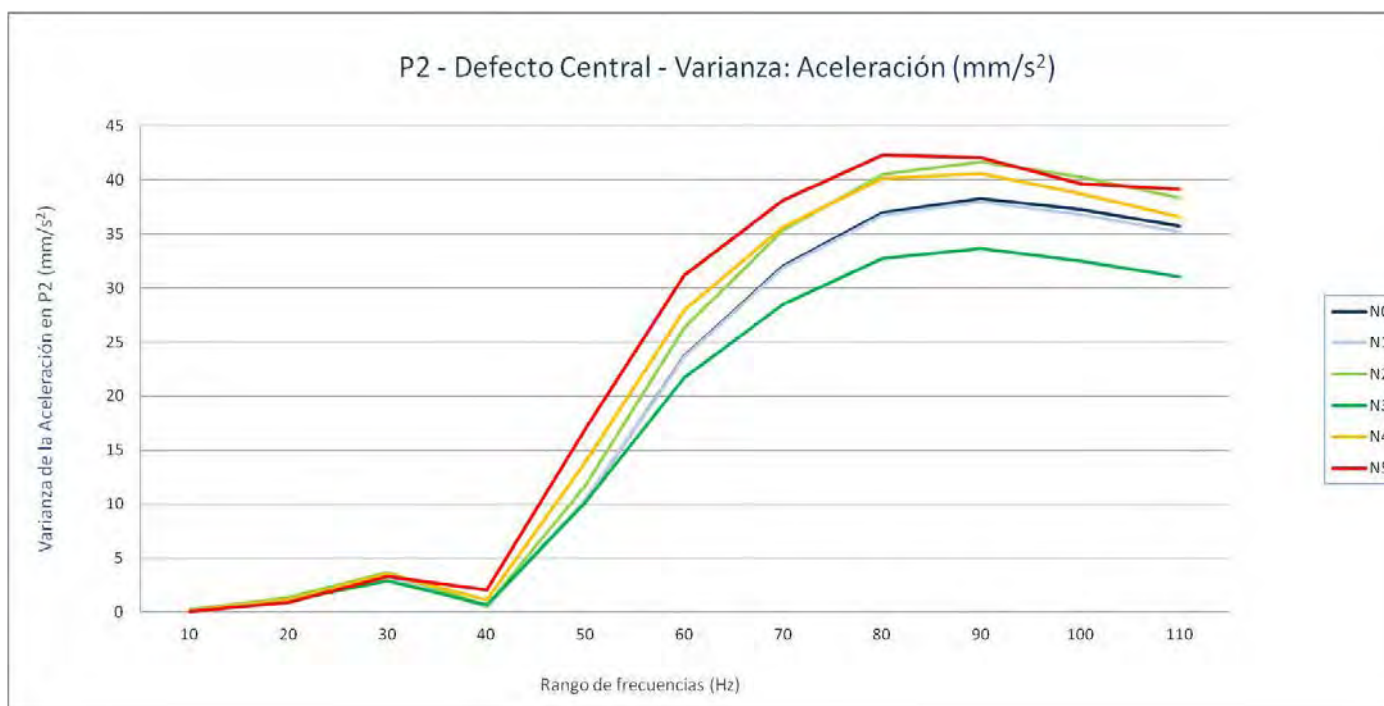
P2. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,050907331	0,118173752	0,16354715	0,053965919	0,25531115	0,39626445	0,456717148	0,48554335	0,506792908	0,490405609	0,479196594
N1	0,04862163	0,116799103	0,161007149	0,05293178	0,266062607	0,408602051	0,453092499	0,499747849	0,50324321	0,48324675	0,491621704
N2	0,048995005	0,126910301	0,176744003	0,06387948	0,285035248	0,42929715	0,492268143	0,508794556	0,548852448	0,518569885	0,517201019
N3	0,040837255	0,120584648	0,167505104	0,067945335	0,27748909	0,419928101	0,459675903	0,49122435	0,503064545	0,489267044	0,481128098
N4	0,03182197	0,119884903	0,172803406	0,088026093	0,346998108	0,500571289	0,523473389	0,5780224	0,607365417	0,548044189	0,547203674
N5	0,01354693	0,1146064	0,195673492	0,134352295	0,421740295	0,585860718	0,585991577	0,652135193	0,670407104	0,628093323	0,614395203



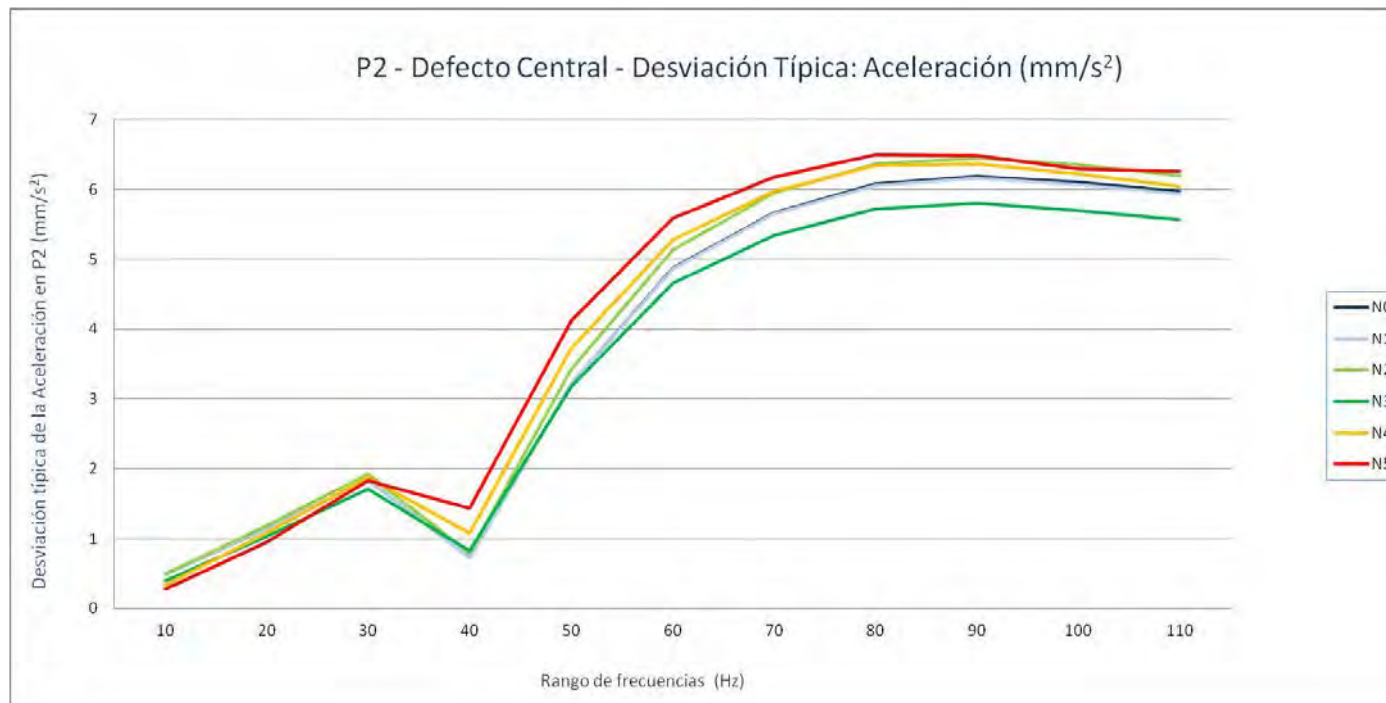
P2. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,24505983	1,29922151	3,39103133	0,5337004	10,3009095	23,7091512	32,063253	36,9985685	38,2931483	37,2678839	35,7324226
N1	0,23892686	1,28731943	3,36989707	0,5330738	10,3629217	23,6456841	31,8951581	36,7375646	37,9403814	36,8453623	35,1852532
N2	0,24622703	1,40453288	3,72175629	0,61731982	11,7404746	26,3732292	35,3186604	40,5050937	41,637211	40,3083728	38,3807391
N3	0,15596161	1,05461829	2,91701799	0,67326719	10,13404	21,7079324	28,520601	32,7296021	33,6516679	32,5171819	31,0043088
N4	0,11484488	1,16231009	3,50607766	1,14700194	13,8718319	27,9208472	35,6389698	40,1592211	40,5680564	38,7112868	36,5586674
N5	0,07899792	0,88656549	3,34261793	2,07054835	16,943464	31,2063773	38,1554033	42,2853384	42,0548449	39,6562388	39,1207797



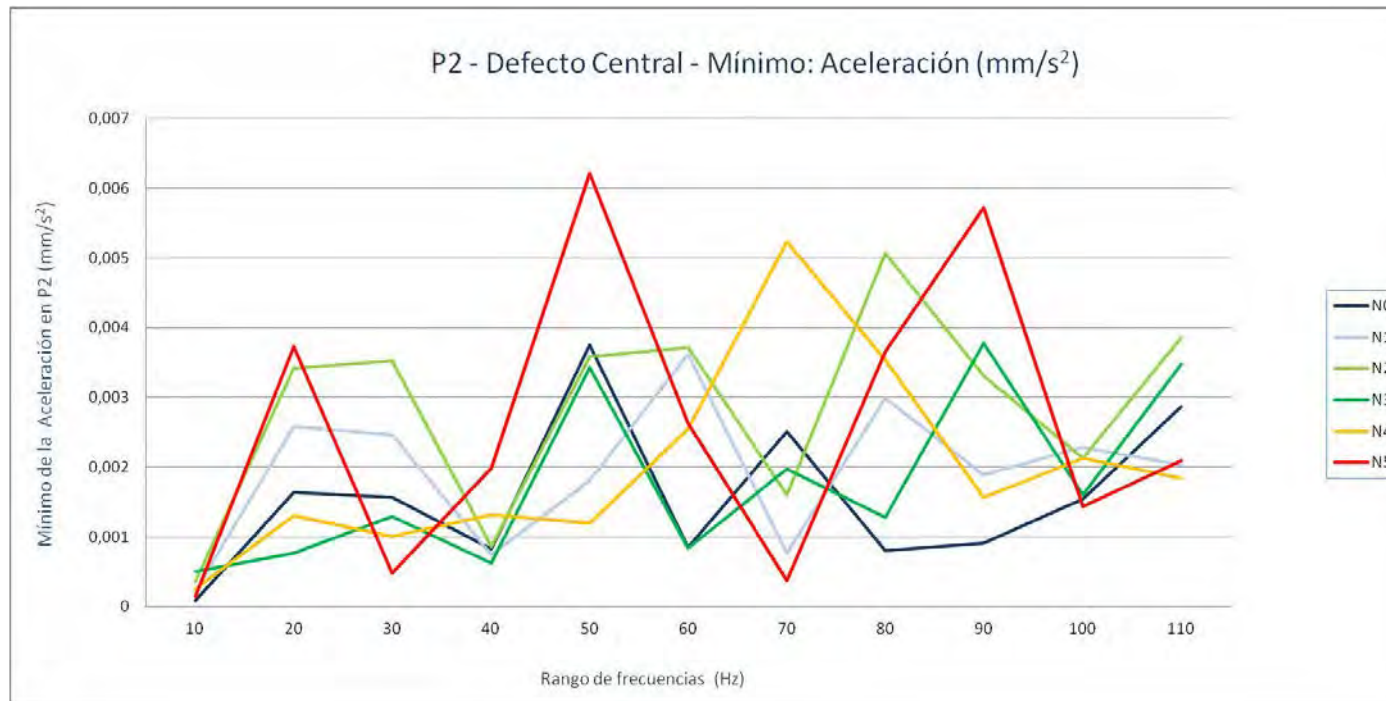
P2. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,495035177	1,139833982	1,841475314	0,730548013	3,209502998	4,869204368	5,662442316	6,082644859	6,188145788	6,104742735	5,977660293
N1	0,488801457	1,134601002	1,83572794	0,730119033	3,219149213	4,862682812	5,64757984	6,061152086	6,159576394	6,07003808	5,931715876
N2	0,496212685	1,185129902	1,929185396	0,78569703	3,426437602	5,135487237	5,942950477	6,36436122	6,452690212	6,348887527	6,19521905
N3	0,394919745	1,026946097	1,707927981	0,820528603	3,183400703	4,65917722	5,340468238	5,720979117	5,801005762	5,702383877	5,568151294
N4	0,338887711	1,078104859	1,872452311	1,070981765	3,724490826	5,284018092	5,969838343	6,337130354	6,369305803	6,221839506	6,046376383
N5	0,281065681	0,941576069	1,828282782	1,438940008	4,116243924	5,586266847	6,177006015	6,502717768	6,484970697	6,297319972	6,254660637



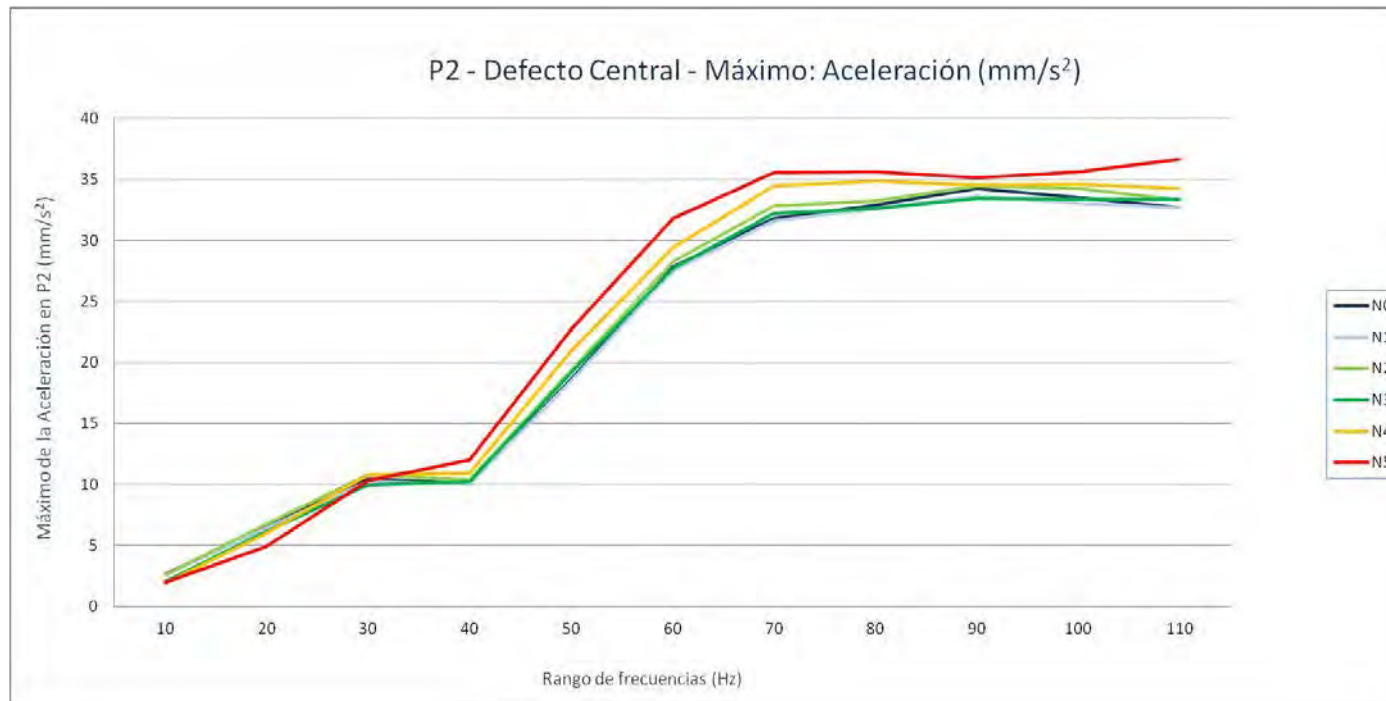
P2. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	8,0338E-05	0,00163772	0,00156735	0,00082101	0,00375296	0,00085124	0,00250736	0,00080382	0,00090802	0,00154692	0,00286433
N1	0,00022452	0,00257687	0,00246016	0,00073809	0,00179971	0,00362165	0,00076613	0,00298306	0,00189221	0,00228832	0,00203266
N2	0,00036483	0,00341327	0,00352718	0,00086029	0,00358085	0,00372018	0,00159869	0,0050677	0,00330803	0,00212381	0,00385324
N3	0,00050064	0,0007663	0,00129318	0,00062408	0,00343135	0,00084062	0,00196914	0,0012819	0,0037712	0,00160432	0,00347529
N4	0,00025865	0,00130917	0,00100099	0,00131951	0,00119067	0,00254349	0,00522721	0,00354122	0,00156685	0,00212919	0,00184327
N5	0,00014816	0,0037244	0,00048086	0,00198782	0,00620665	0,00262917	0,00037694	0,00365104	0,00572511	0,00143117	0,00209116



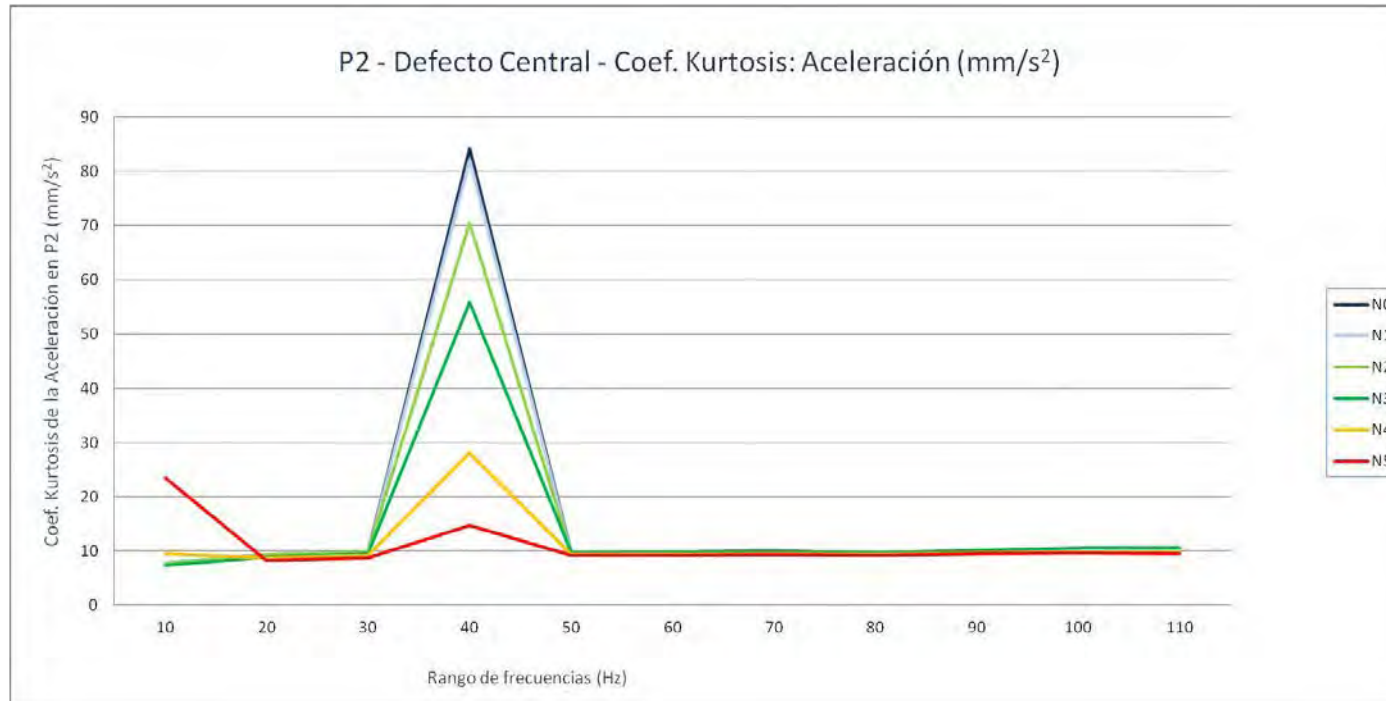
P2. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	2,65990601	6,53907178	10,42404	10,0996504	18,6079902	27,8404492	31,7834199	32,9106719	34,2414102	33,5050391	32,6922793
N1	2,58286499	6,44527686	10,2208604	10,0710801	18,5150996	27,5035508	31,5900996	32,6527793	33,6342695	33,0435117	32,6905703
N2	2,60834106	6,73883105	10,7774805	10,3758301	19,3814395	28,2392695	32,8170703	33,2302617	34,4563711	34,2483008	33,2856094
N3	2,034495	6,16531006	9,96107031	10,2636904	19,1727109	27,7383496	32,21925	32,6056094	33,4493086	33,3535117	33,3539609
N4	1,92425098	6,00359619	10,7601904	10,91179	20,9257109	29,4436797	34,4958008	34,8914883	34,5617695	34,5830391	34,2373711
N5	2,02068005	4,95314893	10,2864102	12,0066699	22,7304395	31,7875996	35,5276719	35,6629102	35,1434805	35,6416406	36,6478281



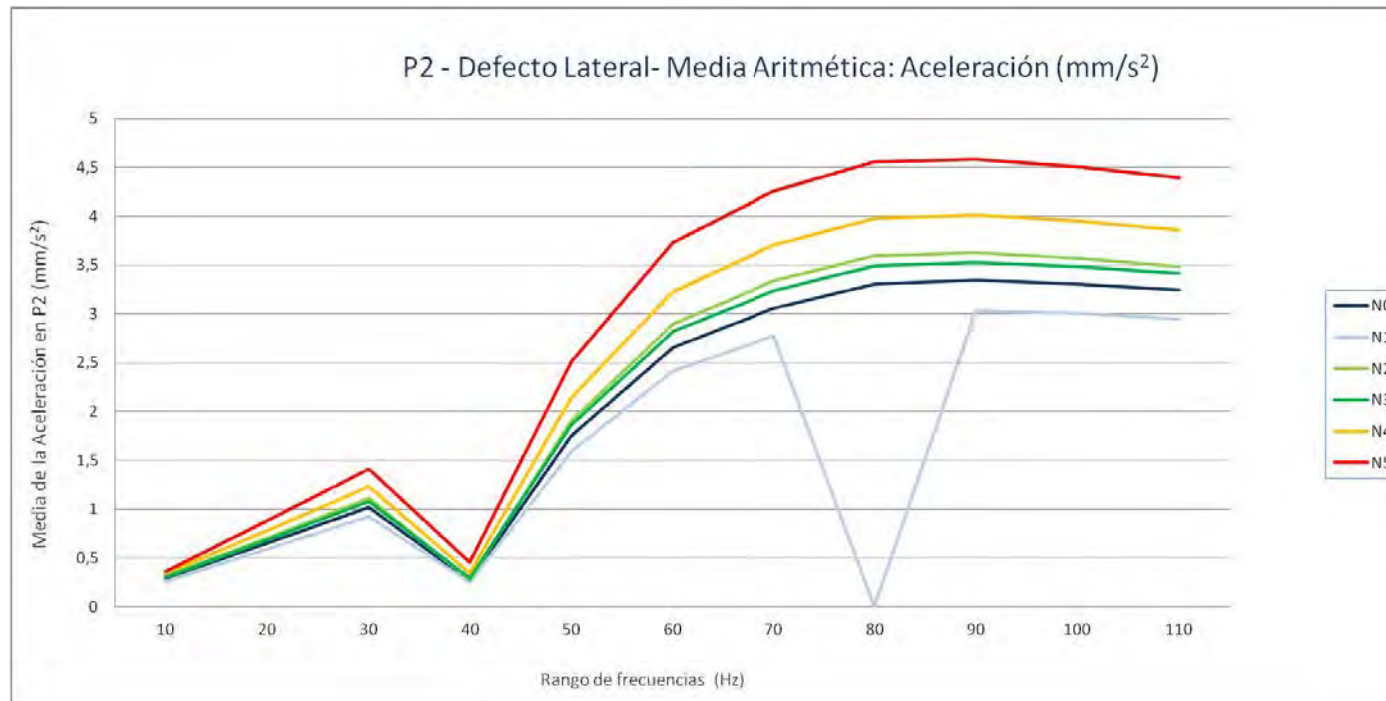
P2. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	7,75392006	9,40120865	9,83384643	84,0442523	9,63525398	9,79426638	9,91175025	9,5943452	9,81243414	10,0452276	10,0159924
N1	7,83976762	9,29290424	9,65933012	82,0790569	9,51613804	9,6325816	9,73819141	9,43330099	9,67307032	9,91103504	9,89686723
N2	7,65612921	9,37742893	9,75439107	70,4424706	9,54285251	9,68833836	9,80304494	9,48004091	9,67921117	9,87301147	9,82669494
N3	7,32410218	8,93358958	9,53319436	55,9141595	9,68565351	9,78322044	9,93587594	9,7146461	10,1824153	10,5595103	10,618925
N4	9,53830521	8,66632098	9,22944738	28,0854352	9,38907018	9,42212103	9,55229218	9,30385007	9,64517711	9,87652469	9,83569314
N5	23,4018684	8,2925076	8,80064672	14,7632655	9,1951262	9,14489729	9,30411866	9,13553179	9,51653123	9,72417628	9,54869159



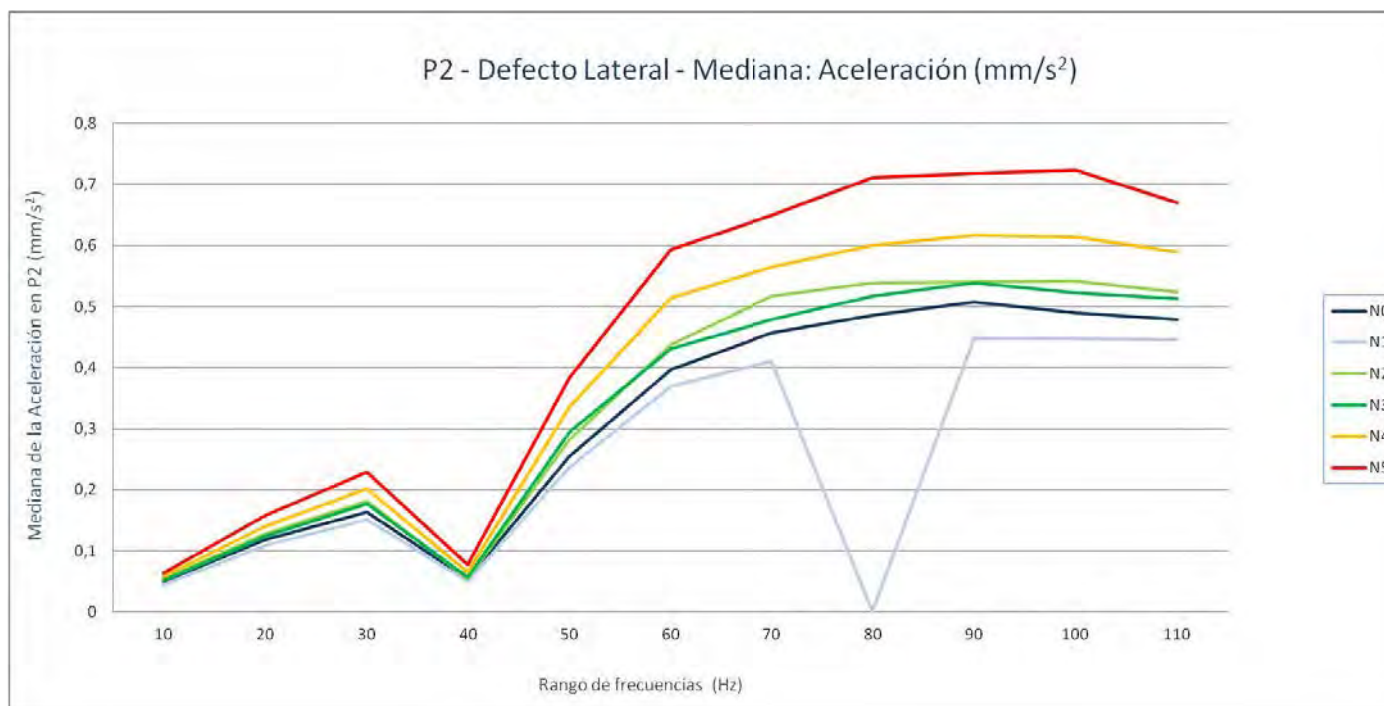
P2. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,29225665	0,65212344	1,02233772	0,26710738	1,74931848	2,65984191	3,06035868	3,30185839	3,34527262	3,30762768	3,24355718
N1	0,26252848	0,5898967	0,92554574	0,2481041	1,59052554	2,41349518	2,77426253	0,00583764	3,03488096	3,00210816	2,94498487
N2	0,31609998	0,70656731	1,10902417	0,27218842	1,90447848	2,89160206	3,33399083	3,59080616	3,62801125	3,56836689	3,48615025
N3	0,30333974	0,68547138	1,07770395	0,28974883	1,86413729	2,81862066	3,23782624	3,48872141	3,52882281	3,48145695	3,41123633
N4	0,34011834	0,78049096	1,23013661	0,34201489	2,14274498	3,22596552	3,70346399	3,97732469	4,01369149	3,95074107	3,86171597
N5	0,3623402	0,88107697	1,40890588	0,45227879	2,51157154	3,73344447	4,2576386	4,55787344	4,58687829	4,50661024	4,39853942



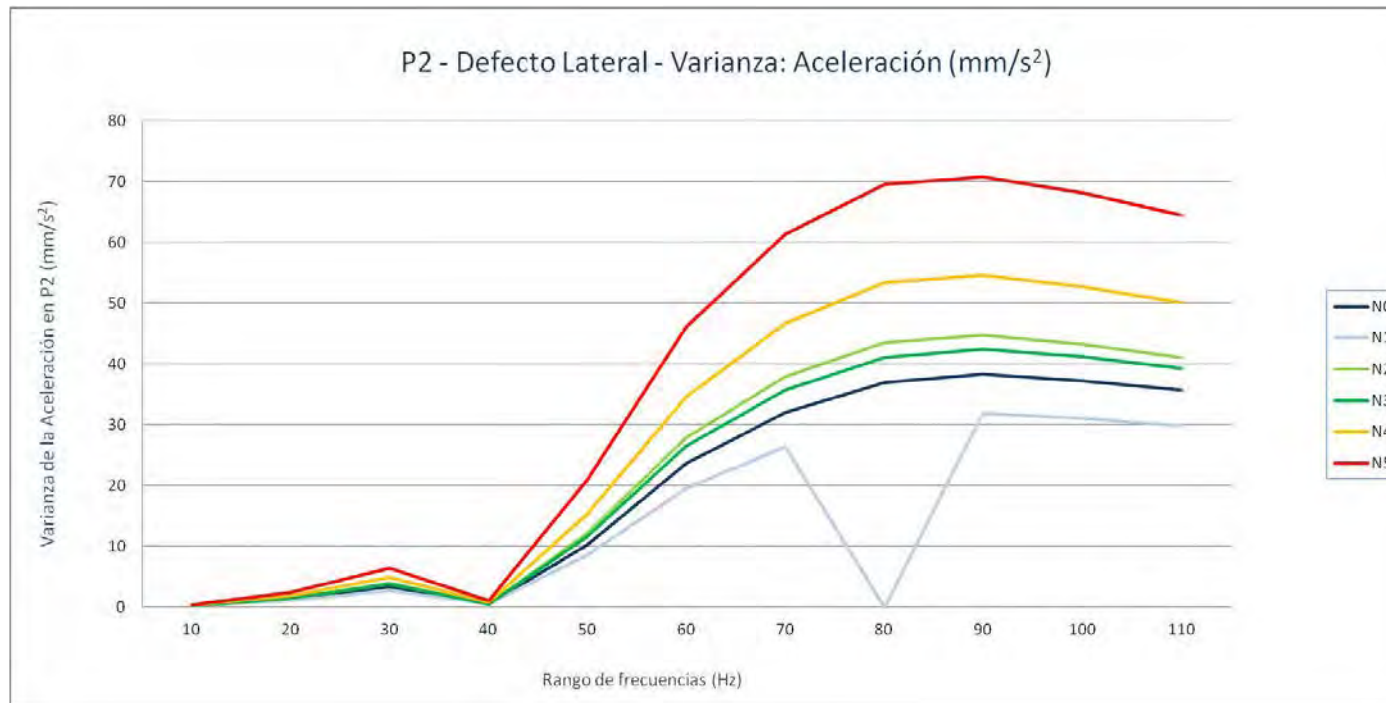
P2. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,050907331	0,118173752	0,16354715	0,053965919	0,25531115	0,39626445	0,456717148	0,48554335	0,506792908	0,490405609	0,479196594
N1	0,045289391	0,108698399	0,151659698	0,050835234	0,2376073	0,370297043	0,4104039	0,001088582	0,447305603	0,44771286	0,44614595
N2	0,054787094	0,127739399	0,180867355	0,054052	0,282800049	0,438218201	0,517231262	0,538561188	0,540863556	0,541414398	0,524251251
N3	0,05183094	0,12403915	0,177333855	0,0566124	0,294127548	0,430504211	0,479289001	0,517426239	0,538184357	0,523140808	0,5134422
N4	0,05798035	0,140735794	0,202139099	0,065530922	0,335554596	0,513809692	0,565196106	0,60060791	0,615981873	0,614569092	0,58965918
N5	0,06358847	0,158735794	0,229518951	0,07751939	0,382713089	0,59389093	0,648824371	0,711406647	0,717973236	0,722483856	0,669912384



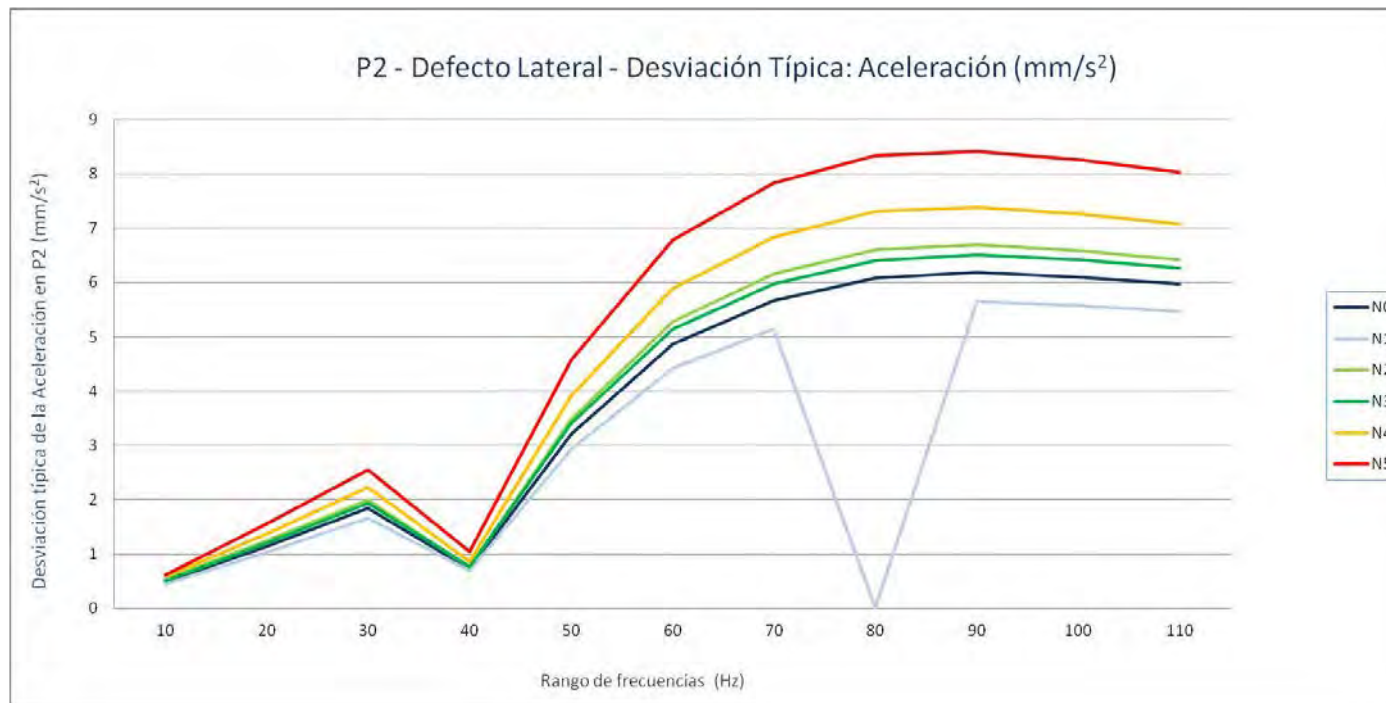
P2. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,24505983	1,29922151	3,39103133	0,5337004	10,3009095	23,7091512	32,063253	36,9985685	38,2931483	37,2678839	35,7324226
N1	0,19829239	1,05316588	2,75999326	0,4855706	8,57280656	19,5527313	26,4111178	0,00011353	31,9001648	31,0768274	29,8798685
N2	0,29035977	1,54480701	4,01889183	0,56077333	12,1575124	27,9566082	37,8650086	43,5193611	44,8057131	43,3152634	41,1195199
N3	0,2649845	1,43737761	3,77124749	0,60077084	11,6508963	26,5092682	35,7095571	41,1012294	42,4133404	41,1641442	39,3310053
N4	0,33591539	1,87749762	4,93477853	0,74983674	15,3373566	34,6981166	46,6643867	53,3467413	54,657162	52,7847206	50,1274765
N5	0,3851332	2,40377243	6,47053747	1,08660855	20,9281664	46,1708417	61,3332059	69,5413447	70,7772828	68,1612086	64,5346665



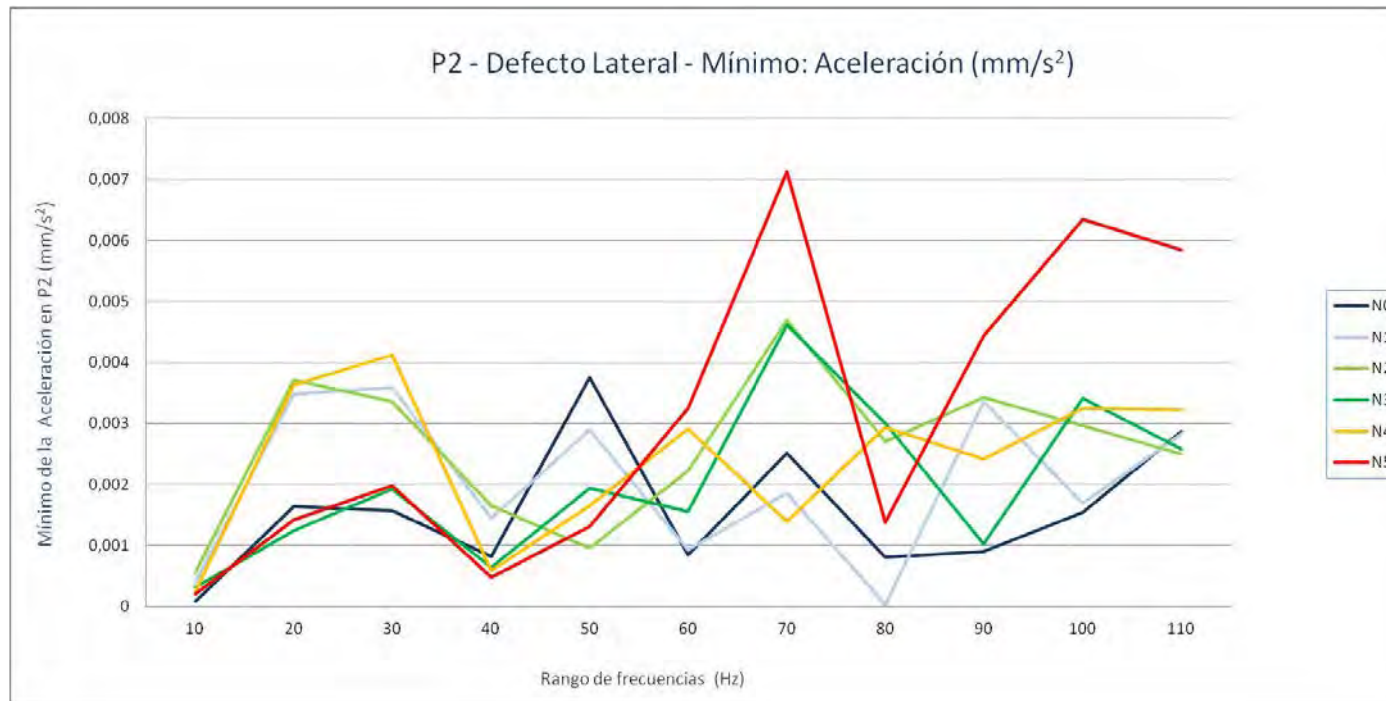
P2. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,495035177	1,139833982	1,841475314	0,730548013	3,209502998	4,869204368	5,662442316	6,082644859	6,188145788	6,104742735	5,977660293
N1	0,445300339	1,026238703	1,661322745	0,696828958	2,927935546	4,421847042	5,139174814	0,010655099	5,648023085	5,574659396	5,466248118
N2	0,538850414	1,242902654	2,004717393	0,748848	3,486762455	5,28740089	6,153455013	6,596920578	6,693706979	6,581433232	6,412450384
N3	0,514766449	1,198906839	1,941970002	0,775094082	3,413340925	5,148715199	5,975747406	6,411024049	6,512552528	6,415928943	6,271443639
N4	0,579582084	1,370218092	2,221436141	0,865931143	3,916293737	5,890510723	6,831133633	7,303885356	7,393048218	7,265309398	7,080076022
N5	0,620591008	1,550410405	2,543725117	1,042405176	4,574731291	6,794912926	7,83155195	8,33914532	8,412923556	8,25598017	8,033347156



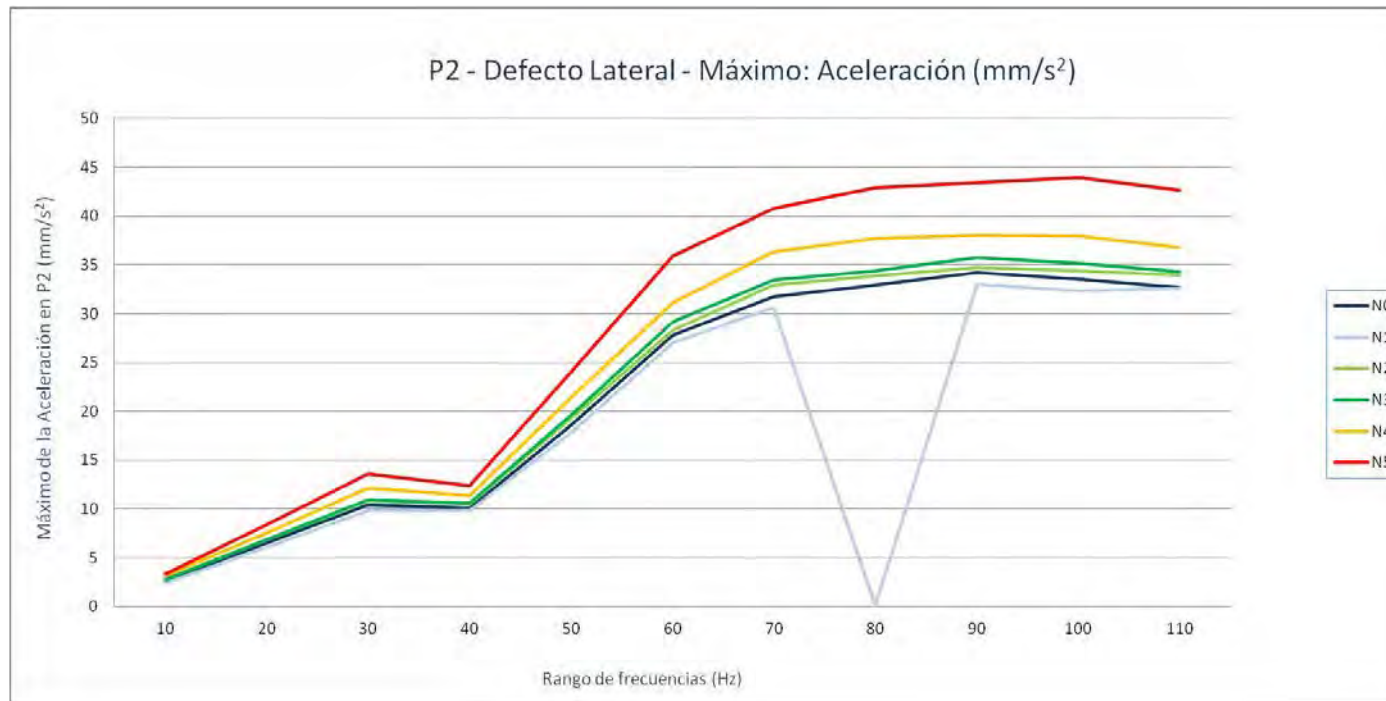
P2. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	8,0338E-05	0,00163772	0,00156735	0,00082101	0,00375296	0,00085124	0,00250736	0,00080382	0,00090802	0,00154692	0,00286433
N1	0,00039935	0,00348283	0,00358552	0,00145071	0,00289063	0,00092952	0,00185451	3,623E-05	0,003354	0,00169757	0,00282713
N2	0,00056498	0,00370863	0,00335287	0,00165102	0,00095557	0,00222241	0,00469146	0,00270539	0,00342286	0,00296207	0,00249661
N3	0,00031821	0,00124806	0,00192057	0,00064812	0,00194662	0,00155272	0,00461763	0,00300668	0,00102255	0,00341507	0,00258591
N4	0,00025281	0,00362931	0,0041203	0,00058881	0,00165303	0,0029141	0,00139763	0,00293536	0,0024125	0,00324762	0,00322398
N5	0,00020105	0,00142595	0,00198424	0,0004858	0,0013109	0,00324361	0,00712539	0,0013779	0,00443315	0,00635199	0,00584445



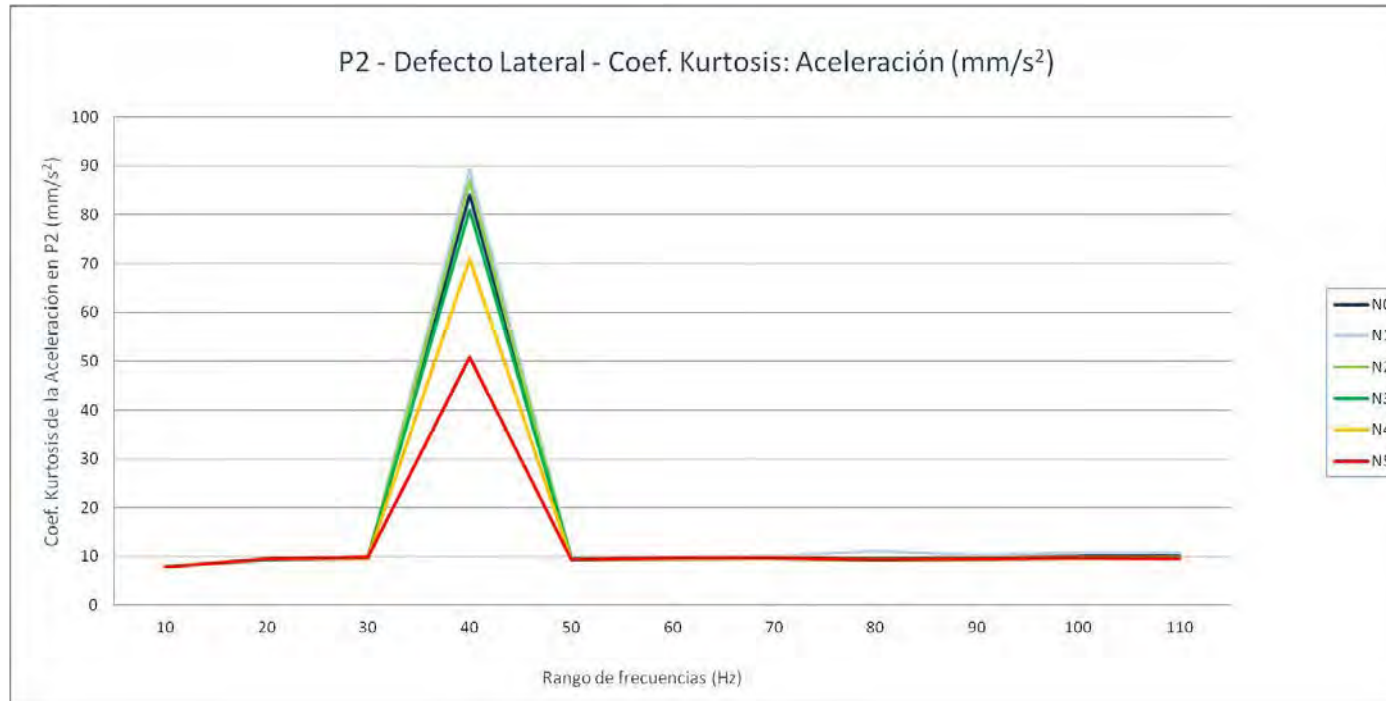
P2. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	2,65990601	6,53907178	10,42404	10,0996504	18,6079902	27,8404492	31,7834199	32,9106719	34,2414102	33,5050391	32,6922793
N1	2,44353711	6,04302393	9,8245791	9,85837695	17,8406797	27,0851992	30,6040703	0,06591891	32,9977188	32,3119395	32,5631992
N2	2,80073096	6,81675879	10,8095498	10,5045098	19,2872891	28,3187891	32,9483398	33,8650117	34,7316406	34,3860586	33,9888594
N3	2,71621094	6,83912793	10,9040996	10,6085898	19,6440293	29,2202891	33,4597813	34,4239102	35,7740586	35,14325	34,3255781
N4	3,13676904	7,55067383	12,10046	11,3720703	21,3997305	31,1725703	36,3146211	37,6788398	38,0595	37,9943516	36,8077813
N5	3,3520061	8,3829248	13,6023799	12,3997803	24,0538008	35,8947617	40,7452305	42,9563789	43,4111719	43,9211016	42,6813906



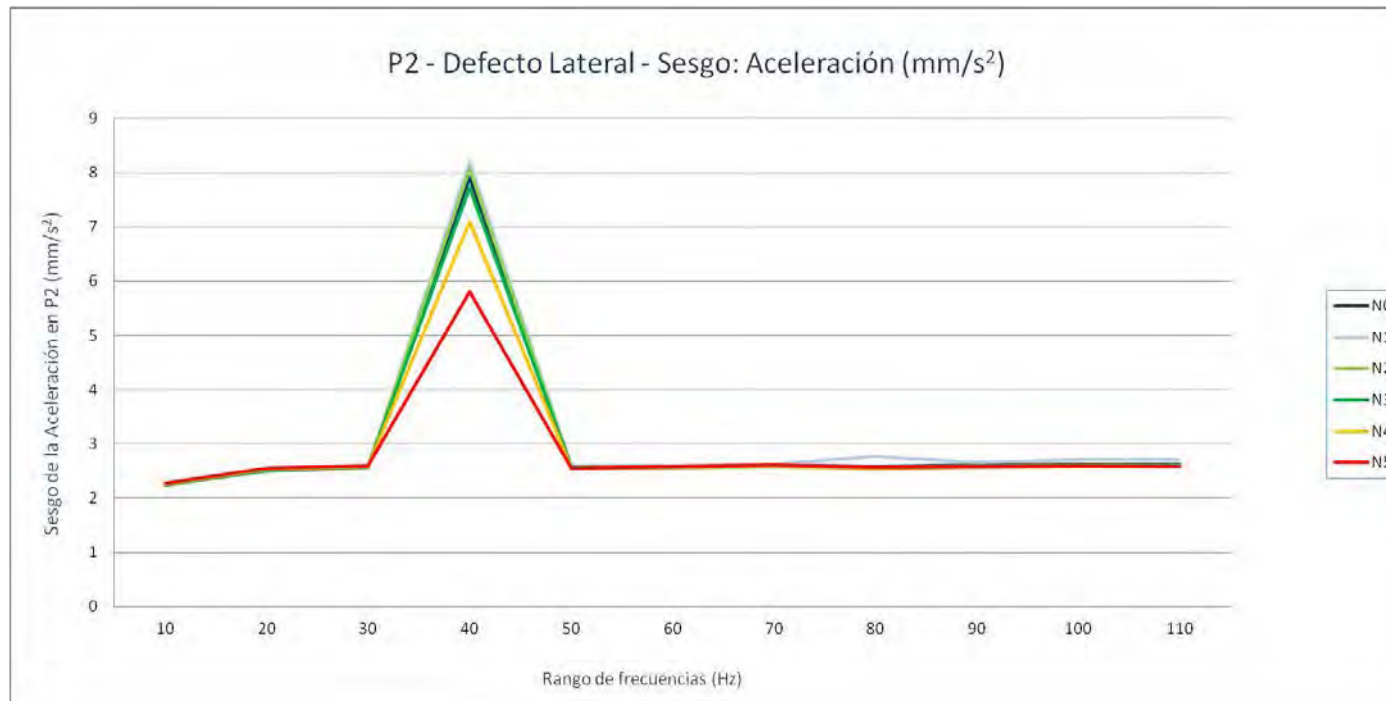
P2. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	7,75392006	9,40120865	9,83384643	84,0442523	9,63525398	9,79426638	9,91175025	9,5943452	9,81243414	10,0452276	10,0159924
N1	7,81960418	9,24331193	9,78924028	89,1337324	9,83459459	9,96048244	10,1123591	11,0774696	10,2712205	10,6866042	10,760919
N2	8,00420604	9,29707478	9,55967486	86,7294542	9,32630699	9,44320422	9,53990426	9,2242257	9,39936589	9,59776589	9,55649082
N3	7,79508562	9,3336882	9,72189732	81,062357	9,54724979	9,68231476	9,78445758	9,47137361	9,69602194	9,93686231	9,92821545
N4	7,87401237	9,48572505	9,78137309	70,9380003	9,4517329	9,62815693	9,73354894	9,39418514	9,52636617	9,68664468	9,63008608
N5	7,86711614	9,60557143	9,86722953	50,8408172	9,4507906	9,6680977	9,78227911	9,43700989	9,52167284	9,64415997	9,57520828



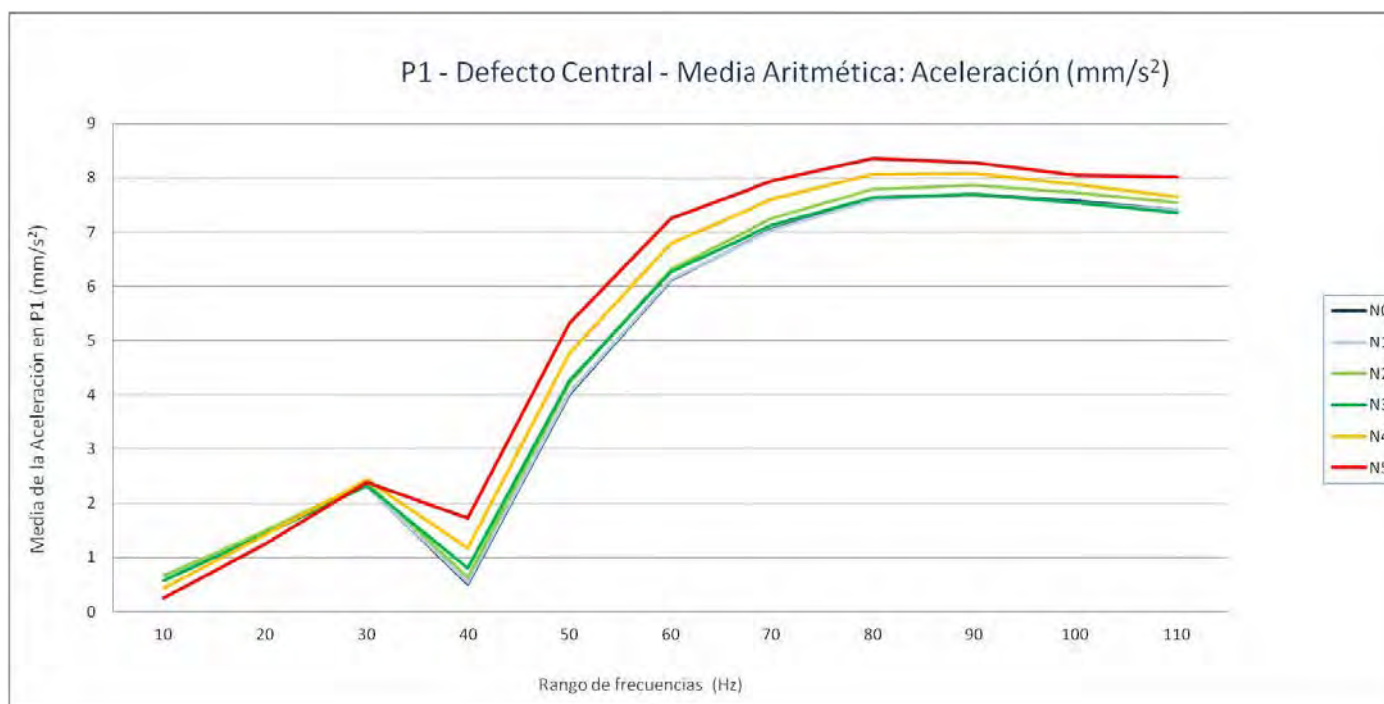
P2. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	2,24195287	2,51445037	2,58581489	7,91333173	2,57589336	2,58947397	2,61496117	2,57508677	2,6109953	2,63255321	2,62227032
N1	2,25233093	2,49082539	2,57290128	8,21170573	2,59825906	2,60235738	2,63222224	2,76968876	2,6627606	2,70048523	2,7020814
N2	2,28254797	2,51388242	2,56500309	8,07120375	2,5436574	2,55640846	2,57879803	2,53679275	2,56770566	2,58823562	2,57789258
N3	2,24810992	2,50808761	2,57389343	7,72481856	2,56521384	2,57711091	2,6006402	2,56088725	2,59745875	2,62051557	2,61334748
N4	2,26275895	2,53216373	2,58825561	7,10171078	2,55567555	2,57669669	2,59990805	2,55513033	2,57968839	2,59635594	2,58427864
N5	2,27385081	2,54714851	2,59918578	5,80749546	2,55357996	2,5819031	2,60572086	2,55907648	2,57648781	2,58998802	2,57642282



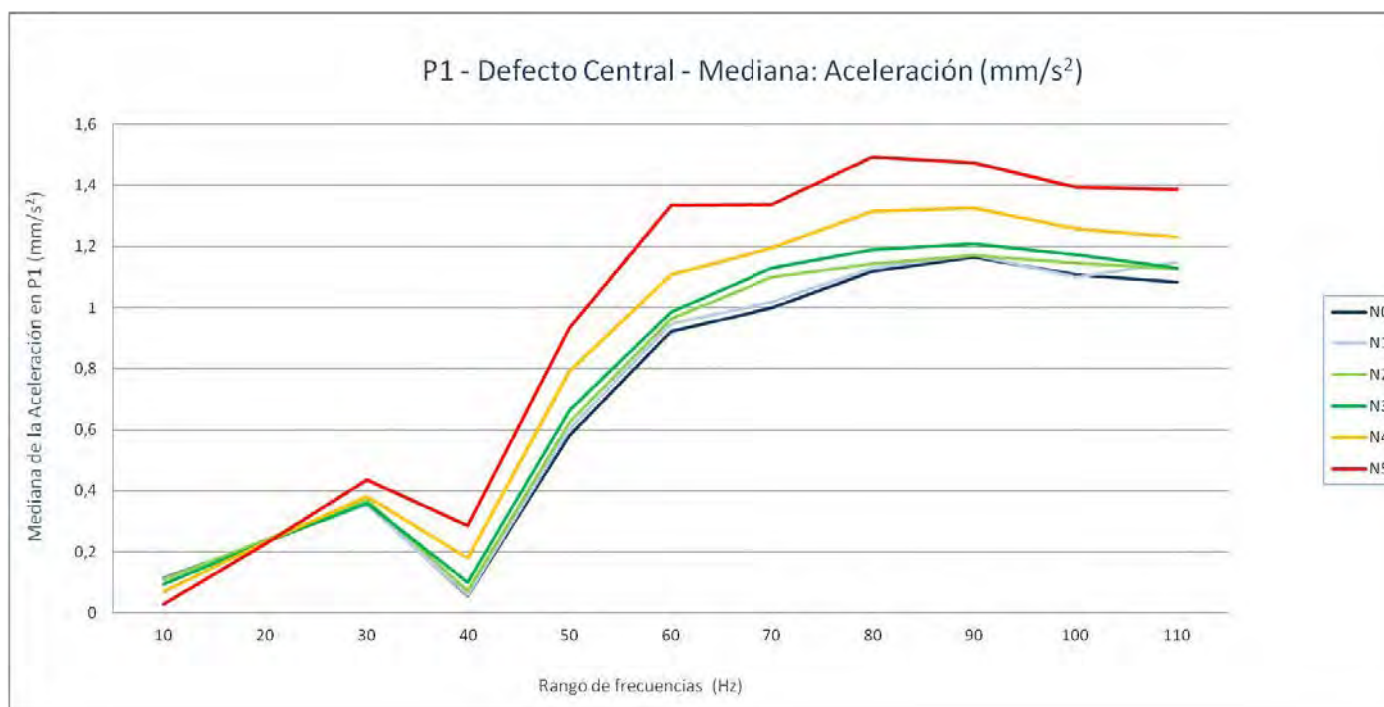
P1. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,67118055	1,46883003	2,32671209	0,51843865	4,0139155	6,11480034	7,05280189	7,60037547	7,69755309	7,57439551	7,40670168
N1	0,6610894	1,46580179	2,32215638	0,54917605	4,03772062	6,12426545	7,04444576	7,58730042	7,69575001	7,53992172	7,40390986
N2	0,65381371	1,49304833	2,38359018	0,63551234	4,20756912	6,31938758	7,25477297	7,79641874	7,87027351	7,72577482	7,54861359
N3	0,56804313	1,42878342	2,32323967	0,79942482	4,26317423	6,27258054	7,13610641	7,6432934	7,69079209	7,53782597	7,35240278
N4	0,42828828	1,42134319	2,42396748	1,17377969	4,76698747	6,78938159	7,61143536	8,06778724	8,07793955	7,88765521	7,65374912
N5	0,24872469	1,24279588	2,39122186	1,72907325	5,31681826	7,25553627	7,94784652	8,35122643	8,27958531	8,04809078	8,02042336



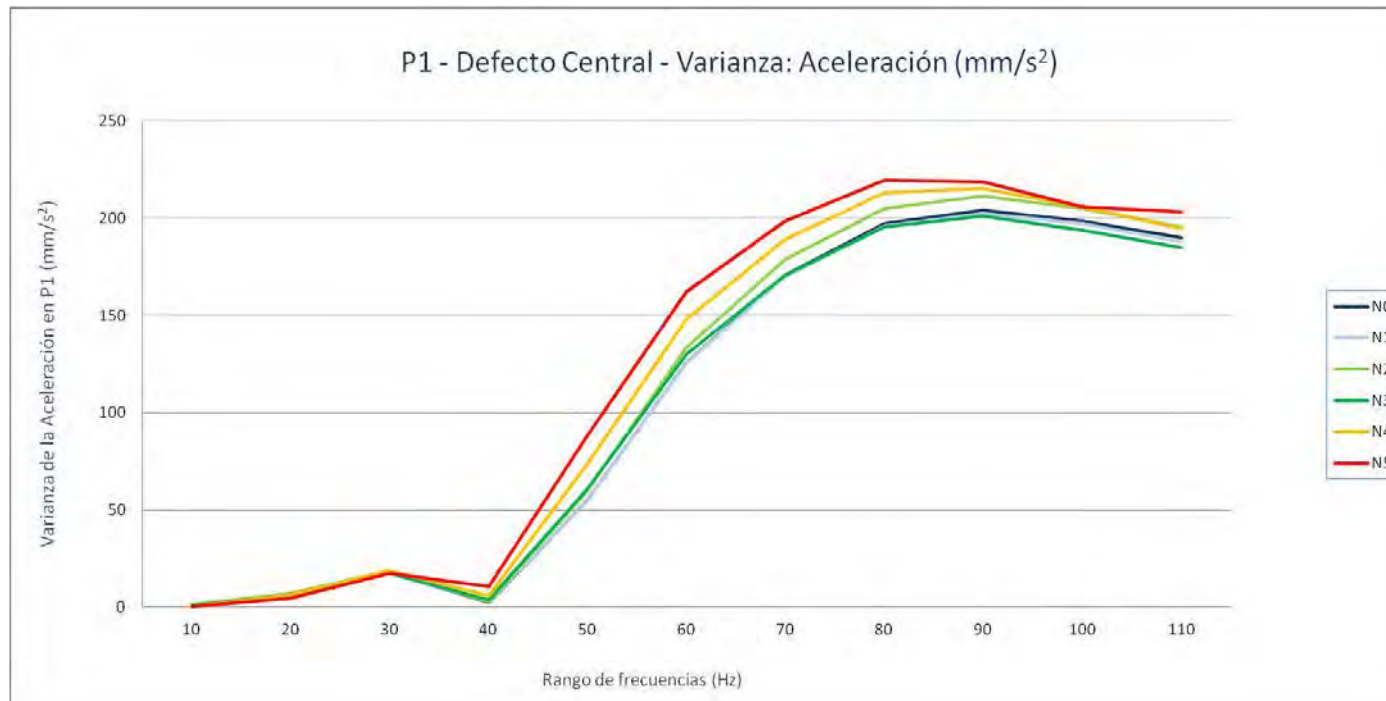
P1. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,114728401	0,233244553	0,358425354	0,058247641	0,581719086	0,922182526	0,998401947	1,117795471	1,163998962	1,107237	1,084014038
N1	0,110222	0,235750099	0,355644043	0,060579344	0,604114594	0,945865509	1,01687149	1,129971497	1,172165466	1,098374512	1,148922546
N2	0,109458302	0,239359055	0,371415253	0,074054878	0,62350946	0,962055908	1,098442505	1,142473999	1,171680542	1,145342468	1,126140015
N3	0,095967705	0,232058701	0,359444397	0,101787849	0,66377774	0,985137054	1,128833496	1,188622986	1,209294495	1,172492981	1,128697021
N4	0,071421127	0,231765396	0,380713287	0,179893707	0,791953796	1,107817993	1,195146973	1,315536987	1,325741943	1,258110962	1,230718018
N5	0,029666559	0,226387497	0,43740921	0,28710379	0,933045471	1,334572021	1,336718018	1,493577026	1,473371948	1,393092041	1,387078003



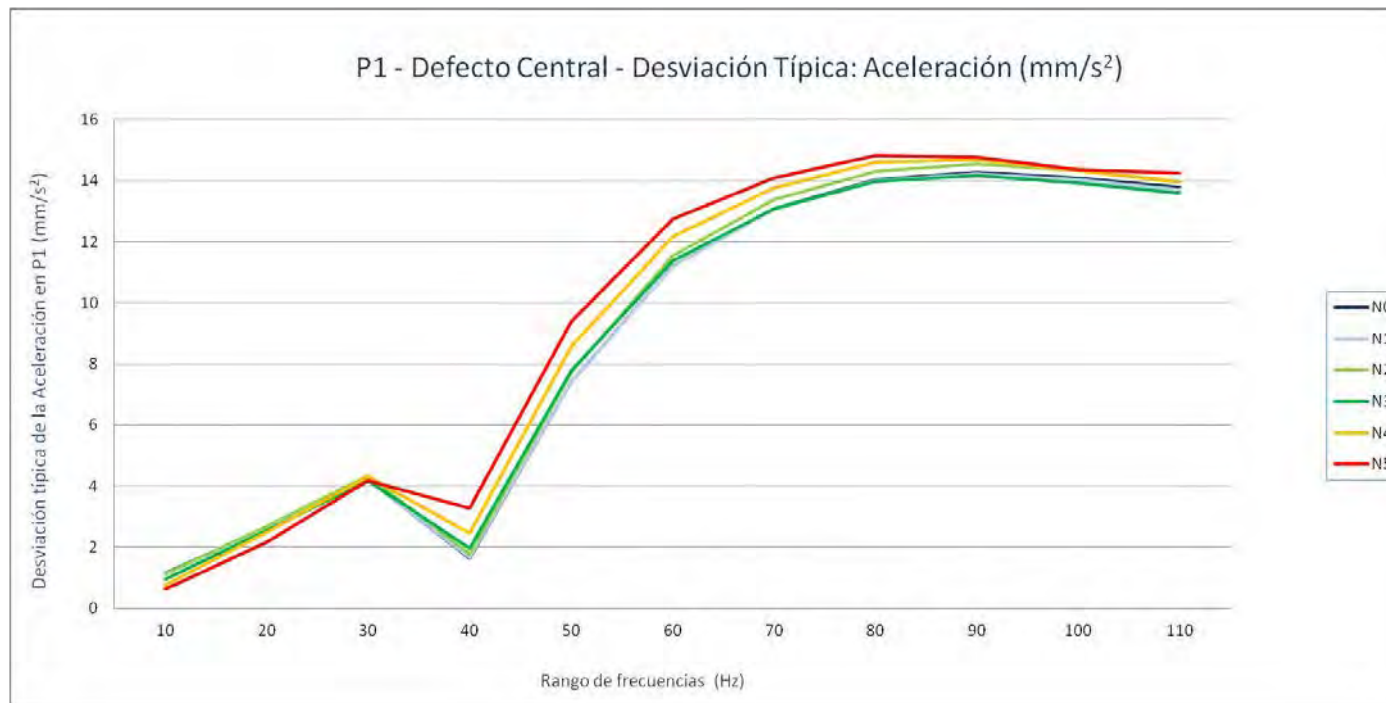
P1. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	1,30450698	6,97188728	18,0475277	2,74112181	54,9846396	125,959156	170,826036	197,08077	204,152485	198,626873	189,923396
N1	1,26710023	6,89053733	17,9331776	2,81336355	55,3656045	125,746481	170,015133	195,913308	202,559819	197,268584	187,933549
N2	1,24100482	7,15111092	18,8149621	3,16325941	59,6996748	133,411392	178,775337	204,999323	211,467392	205,106631	195,535861
N3	0,93986188	6,42950007	17,5897428	3,89386651	60,7170632	129,86038	170,832461	195,436119	200,91683	193,953828	184,676248
N4	0,60574305	6,23005778	18,6373557	6,10348489	73,7554065	148,196702	189,269426	213,019708	215,373838	205,759151	194,694956
N5	0,40931745	4,66678581	17,4445608	10,7955889	88,1998402	162,369804	198,677286	219,618468	218,461377	205,960189	203,37453



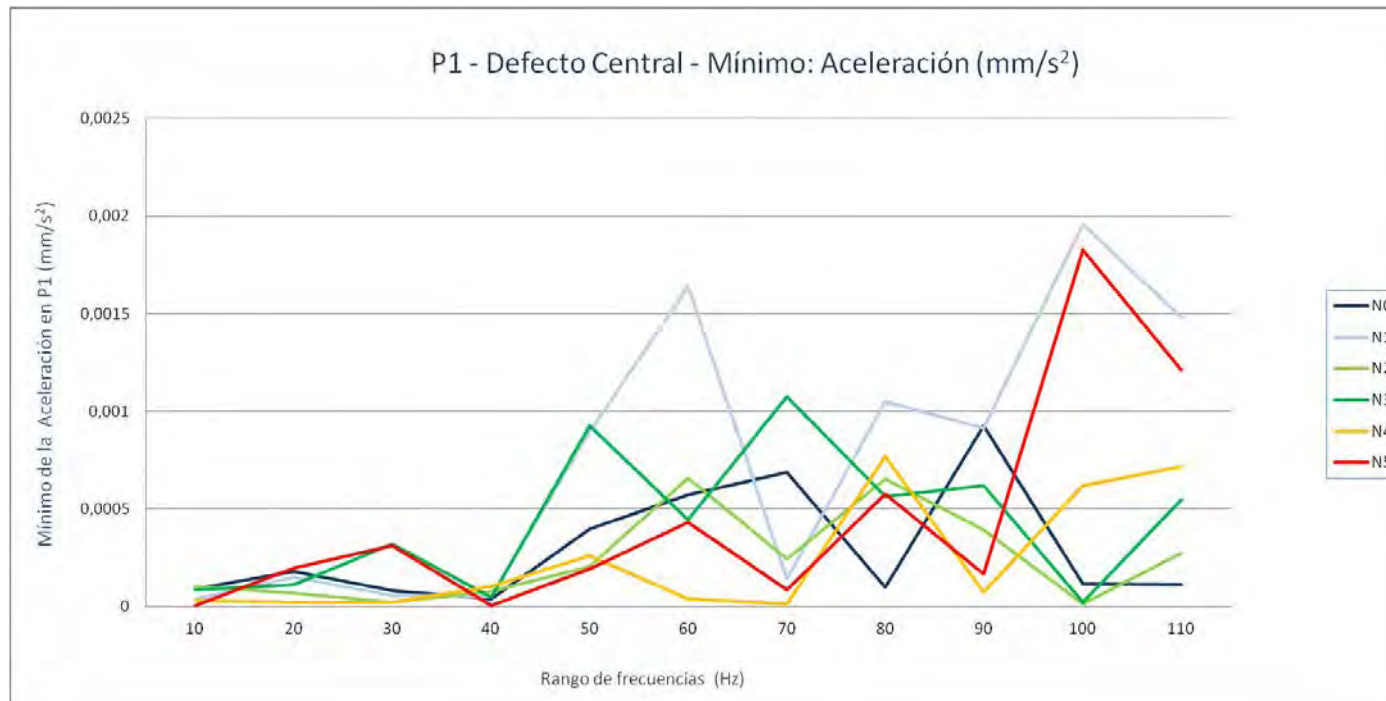
P1. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	1,142150155	2,640433162	4,248238185	1,655633358	7,415162816	11,22315267	13,07004345	14,03854588	14,2881939	14,09350465	13,78126977
N1	1,125655467	2,624983301	4,234758264	1,677308425	7,440806708	11,21367383	13,03898511	13,99690351	14,23235114	14,04523351	13,70888578
N2	1,114003958	2,674156114	4,337621709	1,778555429	7,726556467	11,55038492	13,37068948	14,31779742	14,54191843	14,32154429	13,98341378
N3	0,969464737	2,535645889	4,194012736	1,973288247	7,79211545	11,39562987	13,07028926	13,97984688	14,17451338	13,92673071	13,58956394
N4	0,778294961	2,49600837	4,317100386	2,470523202	8,588096794	12,17360677	13,75752252	14,59519468	14,67562053	14,34430728	13,95331345
N5	0,639779219	2,160274476	4,176668628	3,285664148	9,391476999	12,74244104	14,09529303	14,81952994	14,78043901	14,35131316	14,2609442



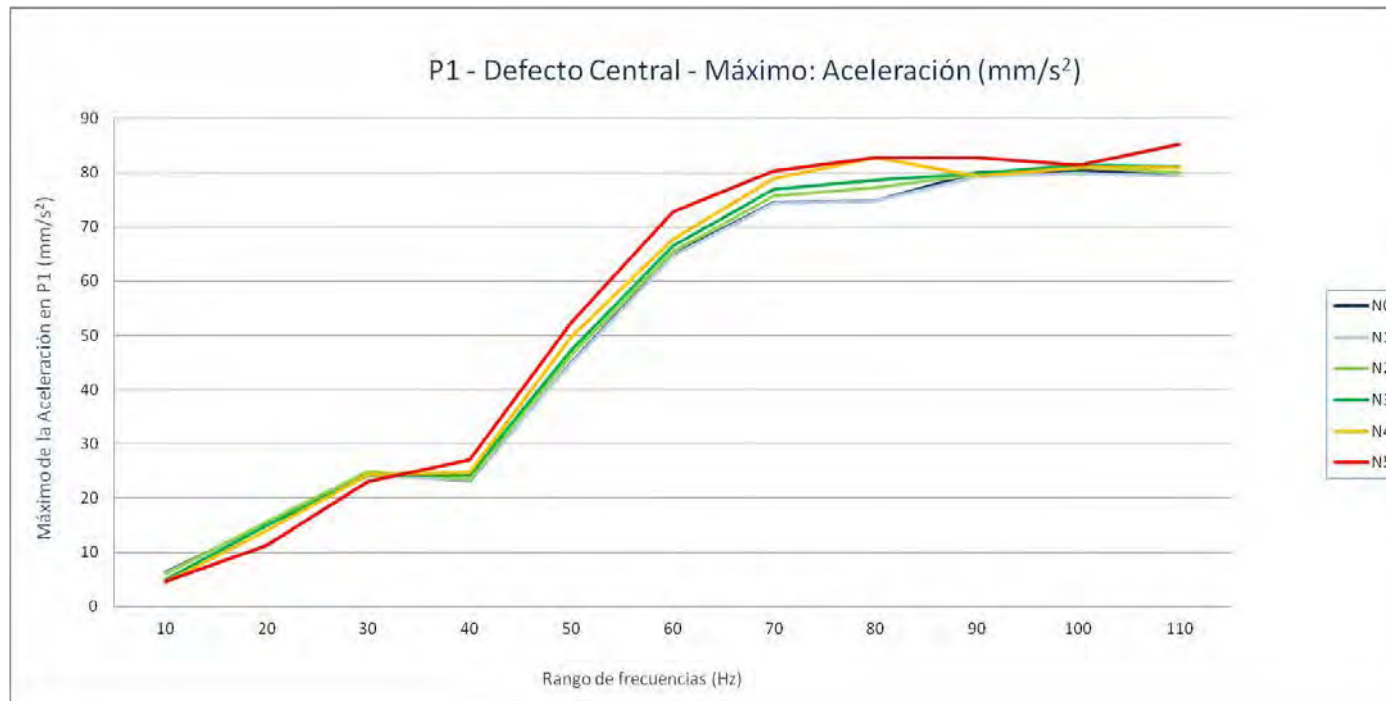
P1. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	8,9302E-05	0,00018131	8,167E-05	4,0075E-05	0,00039675	0,0005741	0,00068562	9,7912E-05	0,00092685	0,00011769	0,00011005
N1	3,7037E-05	0,00014998	5,6862E-05	5,0673E-05	0,00089423	0,00164014	0,00014362	0,00104972	0,00091315	0,00195829	0,00148015
N2	0,00010164	6,8301E-05	2,3577E-05	7,9489E-05	0,0002069	0,000659	0,00024411	0,00065528	0,0003949	1,5598E-05	0,00027252
N3	8,7742E-05	0,00011331	0,00032231	4,6038E-05	0,00092811	0,00044368	0,00107473	0,00056228	0,00061785	2,0734E-05	0,00054549
N4	3,0817E-05	2,1553E-05	2,0962E-05	0,00010181	0,00026128	4,1103E-05	1,2016E-05	0,00076679	7,1815E-05	0,0006201	0,00071601
N5	4,7786E-06	0,00019873	0,00031298	5,8608E-06	0,00019138	0,00043085	8,4416E-05	0,00057751	0,00016547	0,00182707	0,00121347



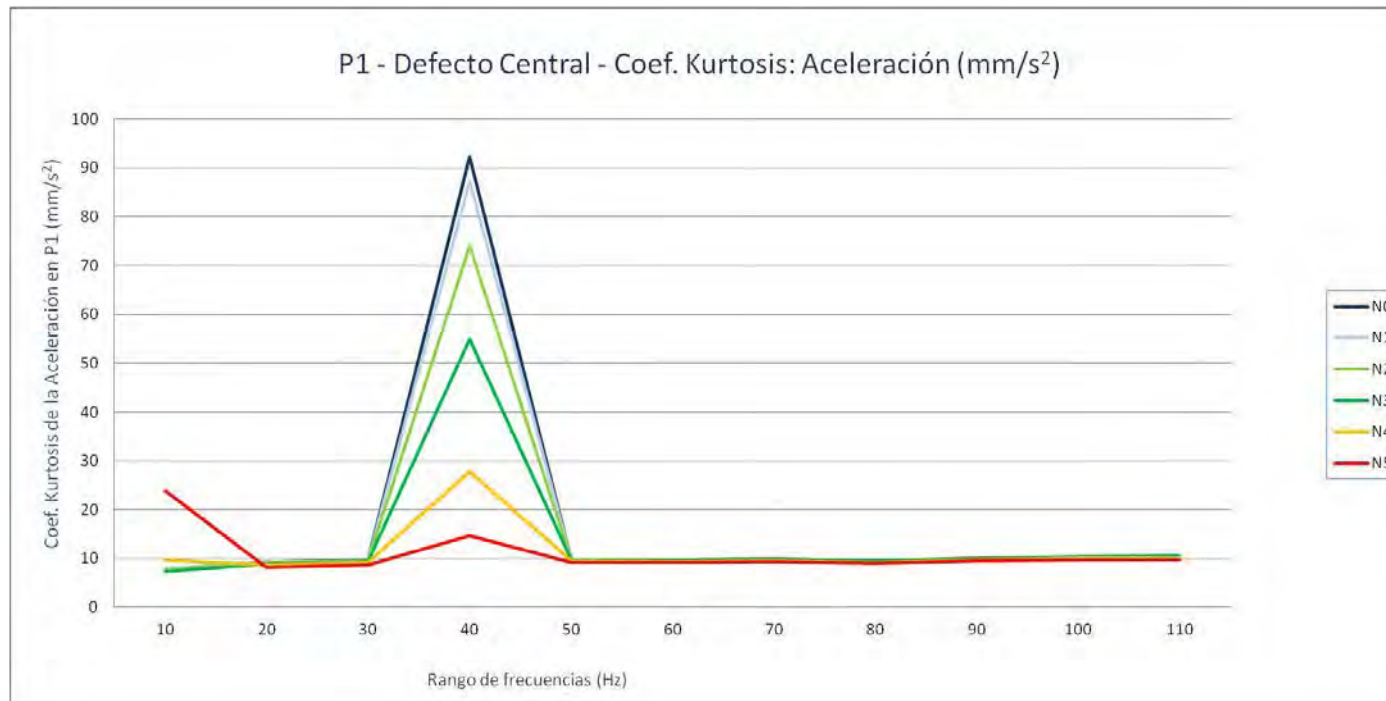
P1. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	6,38261084	15,2558896	24,4867793	23,2208398	45,0320703	65,0197813	74,5459766	74,8213672	80,0349688	80,4468281	79,3825391
N1	6,21007422	15,1129502	24,1704805	23,2889297	44,9106992	64,6197188	74,2955	74,7737891	79,2535781	79,8064531	79,3592891
N2	5,98431201	15,48654	24,91425	23,5616699	46,3238789	65,4496406	75,6976328	77,3118125	79,6466484	81,0314766	80,0663594
N3	4,96065381	14,9626699	24,0886309	24,3296992	47,2988516	66,4281875	76,9096797	78,6339375	79,8300781	81,4111875	81,1326406
N4	4,54543408	14,0353896	24,2856504	24,7624395	49,8226016	67,7099219	78,9238594	82,7663984	79,3938203	80,9078906	80,9795469
N5	4,67180078	11,2059404	23,0765605	27,1024902	52,4546484	72,8591172	80,2525	82,7211172	82,8399375	81,4610781	85,1885703



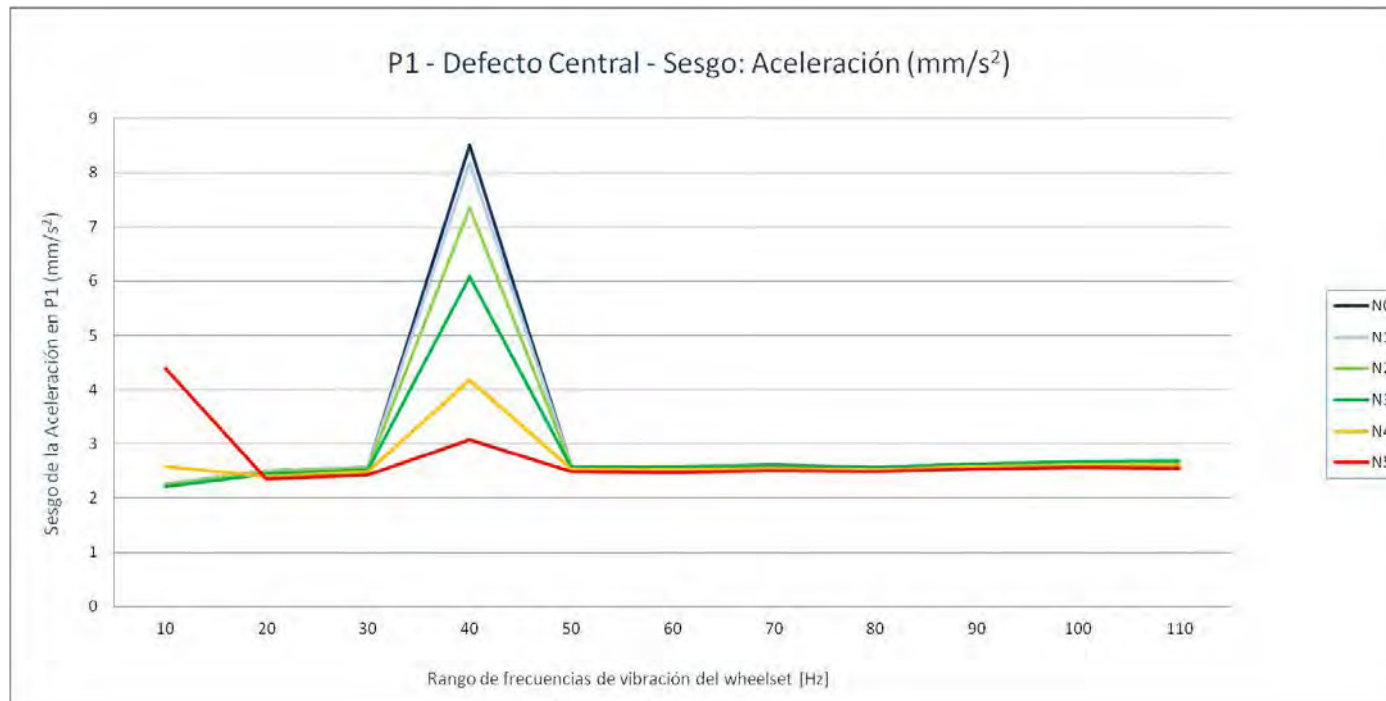
P1. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	7,86351411	9,36197546	9,72230169	92,2525434	9,75452881	9,79022321	9,86801096	9,57923379	9,89405206	10,2866236	10,4098474
N1	7,87139428	9,28899873	9,62276174	87,2836199	9,69264476	9,71431092	9,78226128	9,50298022	9,85226045	10,2294667	10,3762299
N2	7,68494203	9,26121704	9,61960574	73,9779548	9,67102264	9,68962172	9,76732202	9,48053414	9,78689576	10,154258	10,2608607
N3	7,40297394	8,94354156	9,45416957	54,856217	9,68833683	9,70420942	9,81227109	9,58152031	10,0351468	10,4782562	10,6018216
N4	9,72412787	8,61227072	9,18701707	27,8525307	9,4611316	9,43145806	9,53773148	9,28350187	9,67700799	10,0180603	10,0638936
N5	23,803729	8,22614344	8,76989823	14,5854193	9,23745927	9,14587262	9,28558077	9,09783869	9,48556543	9,78540399	9,65207603



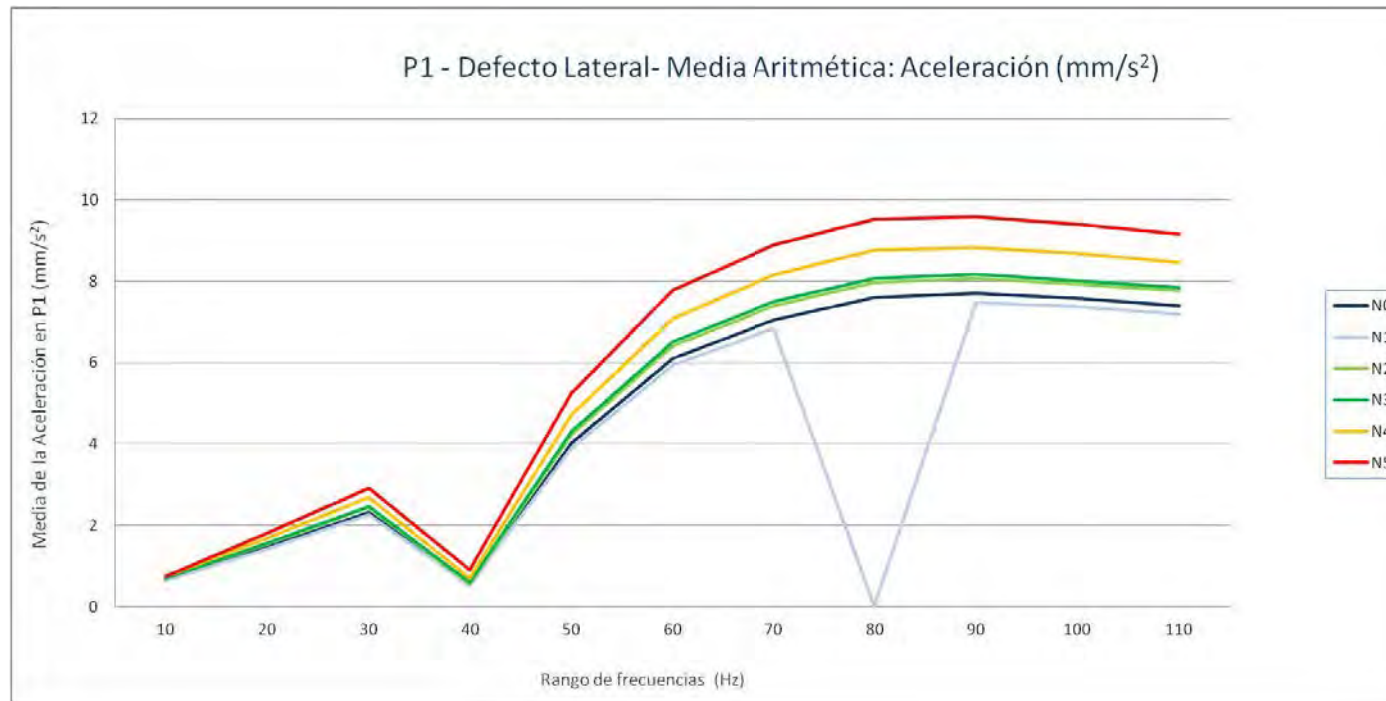
P1. Grieta central - Aceleración (mm/s^2): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	2,25807071	2,50577492	2,57108372	8,5010123	2,58899613	2,58804614	2,60888648	2,57209574	2,62120689	2,66295465	2,67193459
N1	2,26013099	2,49827758	2,55976947	8,1827463	2,5814269	2,57919635	2,59851734	2,56307755	2,61675912	2,65534454	2,66829213
N2	2,23744618	2,49141349	2,5574661	7,36203147	2,57626465	2,5745888	2,59536062	2,55861303	2,60565204	2,64512302	2,65278163
N3	2,21398067	2,44466219	2,52788931	6,08647371	2,57118558	2,56724179	2,59210671	2,56526323	2,62864906	2,6741443	2,68396769
N4	2,57863666	2,40078496	2,48571084	4,17851177	2,53671466	2,5273709	2,5523542	2,52398379	2,57522131	2,61221894	2,61674471
N5	4,39448714	2,35438186	2,42406178	3,06715038	2,49610962	2,47870408	2,50862582	2,48894097	2,5412291	2,5693806	2,54874335



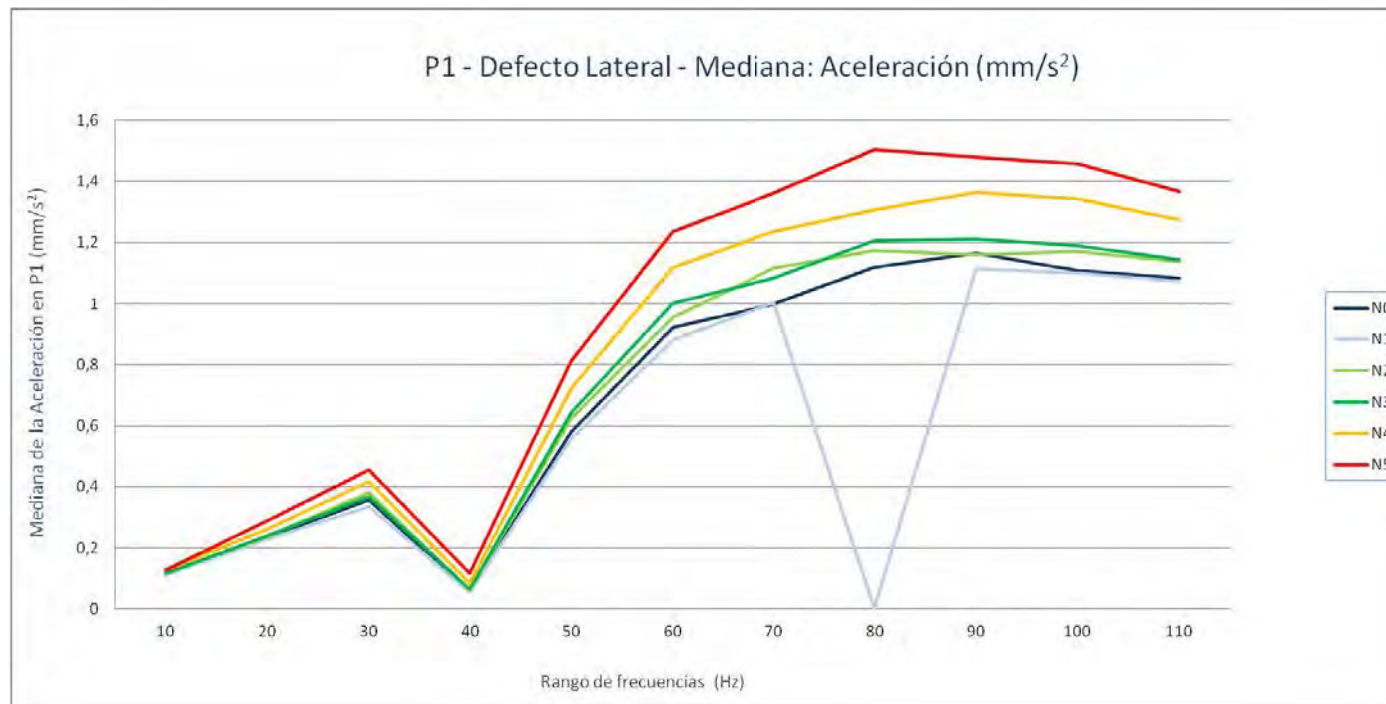
P1. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Media aritmética

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,67118055	1,46883003	2,32671209	0,51843865	4,0139155	6,11480034	7,05280189	7,60037547	7,69755309	7,57439551	7,40670168
N1	0,64775032	1,4212366	2,25755677	0,5182137	3,90494016	5,93944969	6,84859161	0,01395417	7,47144102	7,37110382	7,19793783
N2	0,69945701	1,53824564	2,44004037	0,55865655	4,22091236	6,41833164	7,39539726	7,96219899	8,06302535	7,92188337	7,75694715
N3	0,69890573	1,55688091	2,46738652	0,59334112	4,3029095	6,51180556	7,49452158	8,07264117	8,1713915	8,00858438	7,85653615
N4	0,74436645	1,68239772	2,68026893	0,69670153	4,71005947	7,0935688	8,15640736	8,76169111	8,83218379	8,68775939	8,4628512
N5	0,74985209	1,80633969	2,91419006	0,90478876	5,24722978	7,79390409	8,89203465	9,52128392	9,58467495	9,39591654	9,16273807



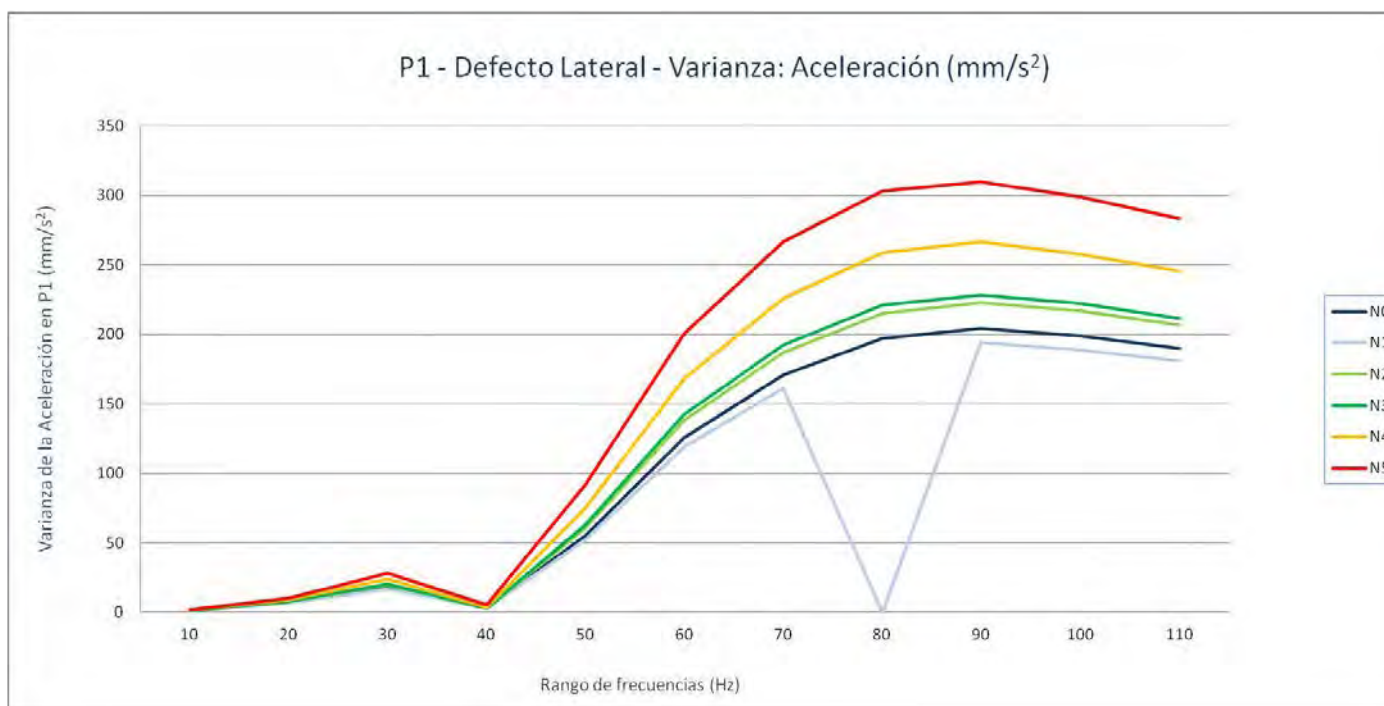
P1. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Mediana

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	0,114728401	0,233244553	0,358425354	0,058247641	0,581719086	0,922182526	0,998401947	1,117795471	1,163998962	1,107237	1,084014038
N1	0,1120359	0,228036095	0,336567001	0,054406765	0,56033136	0,881463989	1,004451477	0,001949301	1,112382996	1,099497986	1,072151489
N2	0,121093849	0,237523201	0,382214554	0,06259424	0,623289032	0,956009735	1,11601001	1,173192017	1,15834552	1,169694946	1,138159973
N3	0,1159548	0,238818649	0,367450592	0,066162724	0,644364197	1,001106293	1,083947021	1,205104004	1,212576965	1,188330994	1,144453003
N4	0,126975197	0,262426392	0,416404297	0,084177551	0,72200592	1,119229004	1,23581604	1,307676025	1,365256958	1,34335498	1,273151978
N5	0,129087944	0,288767502	0,456684494	0,1171134	0,814037384	1,235084534	1,361213501	1,504471497	1,477731445	1,456793457	1,366078491



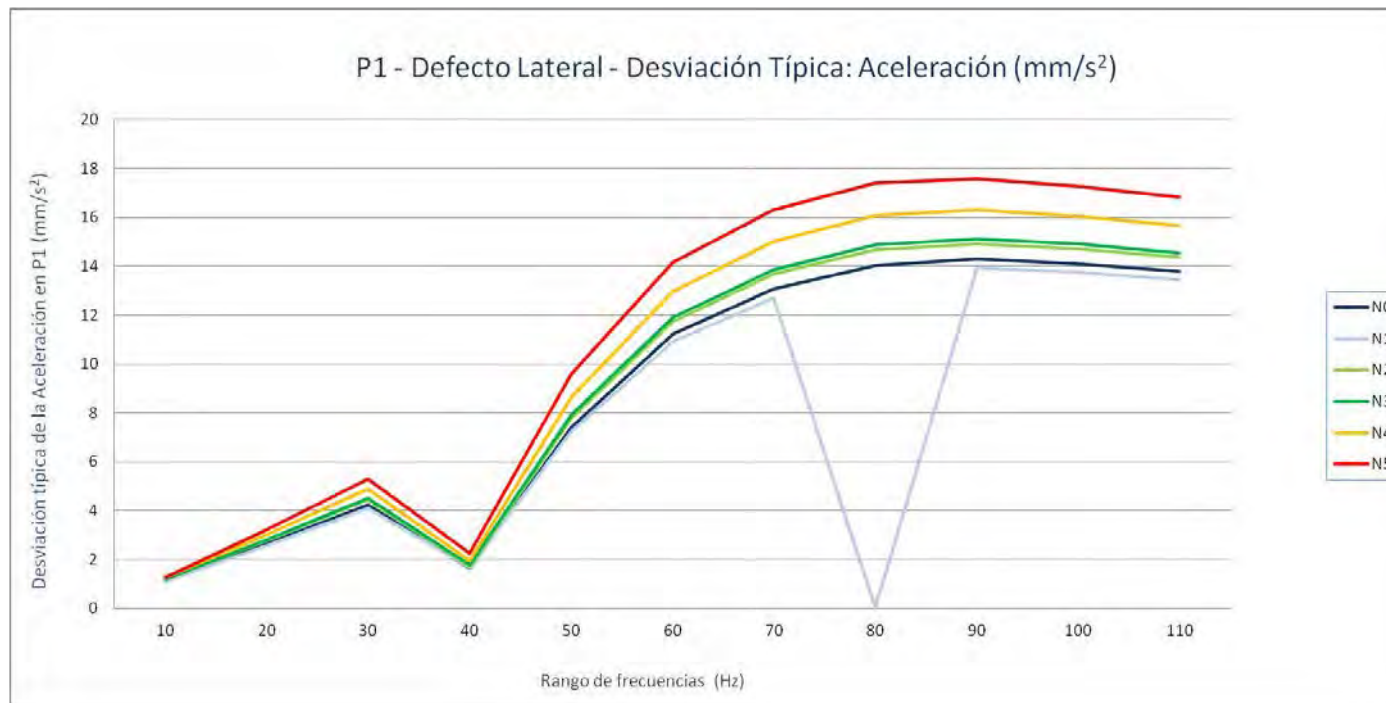
P1. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Varianza

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	1,30450698	6,97188728	18,0475277	2,74112181	54,9846396	125,959156	170,826036	197,08077	204,152485	198,626873	189,923396
N1	1,21610121	6,52590449	16,9170446	2,76032737	52,2777242	118,971356	161,071686	0,00069874	194,143334	188,756967	180,952691
N2	1,41996974	7,64372784	19,7904213	2,95912136	60,5245395	138,112579	186,992686	215,287	222,834549	216,761681	206,745887
N3	1,41926993	7,77619862	20,2800288	3,19898302	62,7643442	142,306483	192,067549	221,113921	228,414595	222,189717	211,639367
N4	1,61374626	9,12871928	23,8533036	3,80302109	74,8446351	168,17177	226,025431	258,744054	266,32039	257,590715	245,495475
N5	1,64394055	10,421512	27,9697596	5,07613435	91,9095044	200,887417	266,475523	302,858809	309,496484	298,682997	283,528007



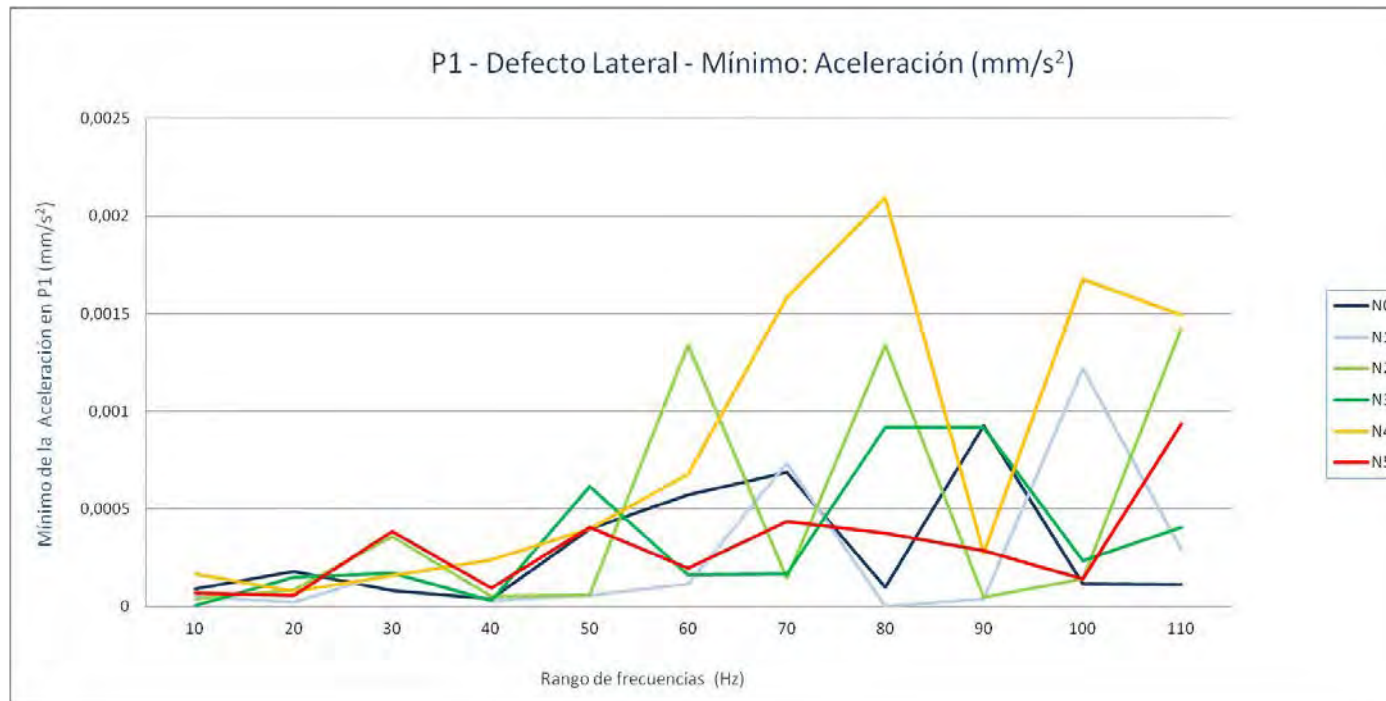
P1. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Desviación típica

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	1,142150155	2,640433162	4,248238185	1,655633358	7,415162816	11,22315267	13,07004345	14,03854588	14,2881939	14,09350465	13,78126977
N1	1,10276979	2,554584993	4,113033505	1,661423297	7,230333619	10,90739912	12,69140205	0,026433761	13,93353271	13,73888522	13,45186573
N2	1,19162483	2,764729252	4,448642632	1,720209684	7,779751889	11,75213082	13,6745269	14,67266165	14,9276438	14,72282855	14,37866082
N3	1,19133116	2,788583623	4,503335299	1,788570105	7,922395108	11,92922809	13,85884372	14,86989985	15,11339125	14,90602954	14,54783031
N4	1,270333131	3,02137705	4,883984395	1,950133608	8,65127939	12,96810586	15,03414219	16,08552313	16,31932567	16,04963286	15,66829522
N5	1,28216245	3,228236667	5,288644405	2,253027819	9,586944478	14,17347582	16,32407802	17,40283911	17,59251216	17,28244765	16,8382899



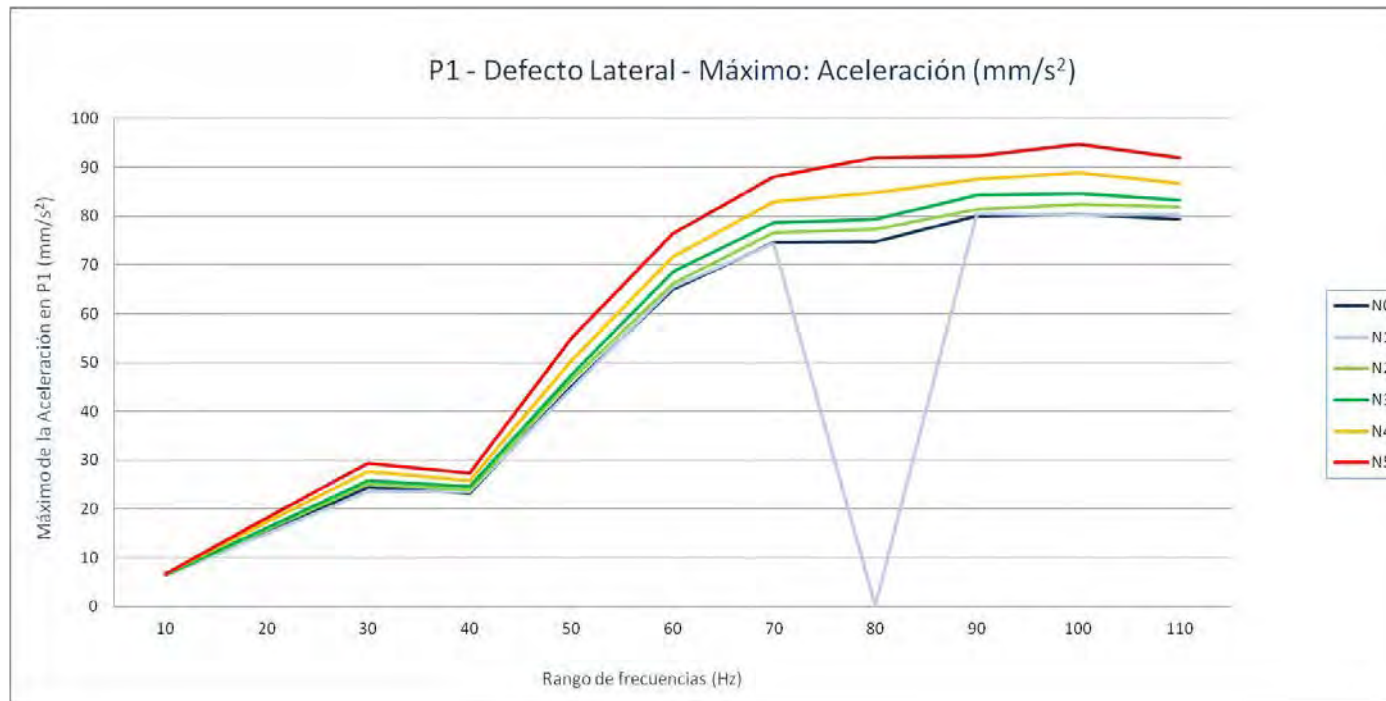
P1. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Mínimo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	8,9302E-05	0,00018131	8,167E-05	4,0075E-05	0,00039675	0,0005741	0,00068562	9,7912E-05	0,00092685	0,00011769	0,00011005
N1	5,3156E-05	2,0454E-05	0,00017353	3,0533E-05	5,452E-05	0,00011612	0,0007347	1,323E-06	3,7444E-05	0,00121886	0,00029
N2	4,0019E-05	8,8098E-05	0,00036019	5,2434E-05	6,0303E-05	0,00134094	0,00014739	0,00134157	4,577E-05	0,00013987	0,00142323
N3	6,5077E-06	0,00015201	0,00016923	3,2636E-05	0,0006161	0,00016366	0,00016673	0,00091669	0,0009182	0,00023464	0,00040765
N4	0,00016511	7,8802E-05	0,00015787	0,00023777	0,00039832	0,00067672	0,00158162	0,00209629	0,00027184	0,00167529	0,00149365
N5	6,8266E-05	5,8226E-05	0,00038452	9,5906E-05	0,00040454	0,0001949	0,00043534	0,00037754	0,00028837	0,00014242	0,0009347



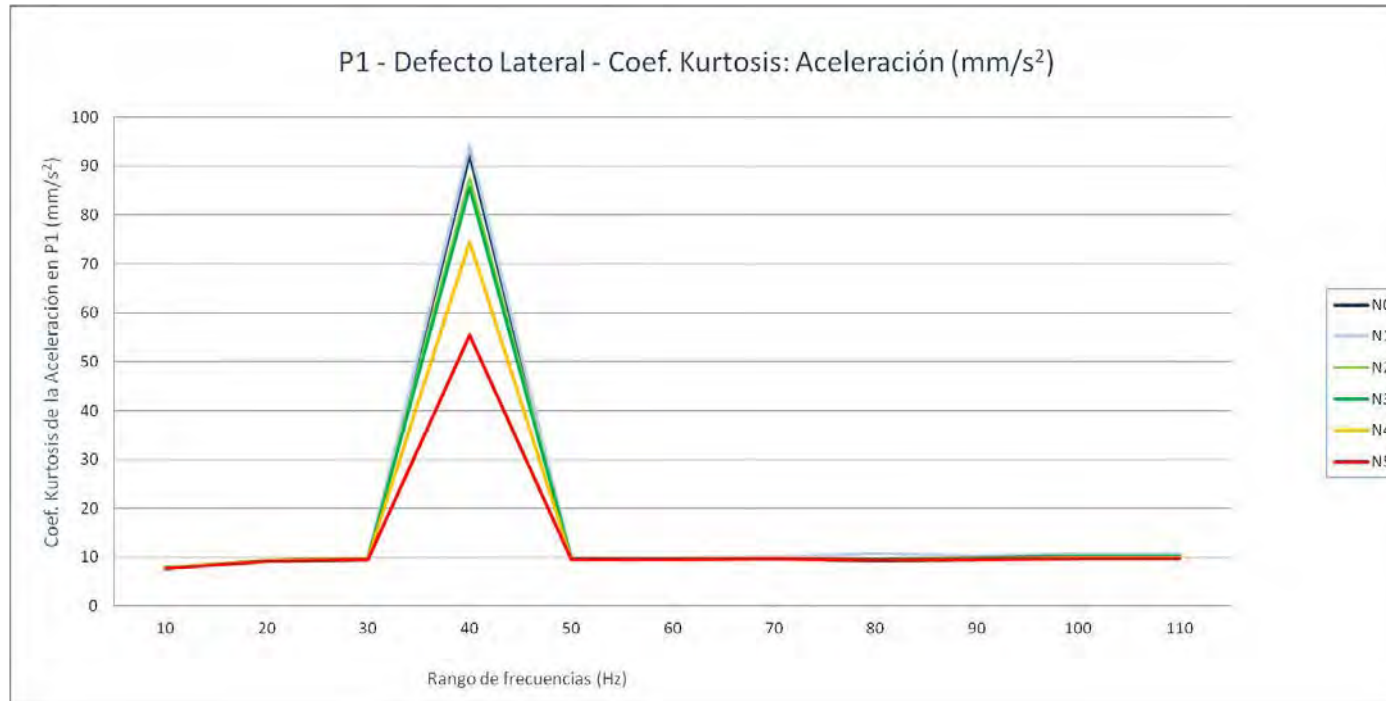
P1. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Máximo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	6,38261084	15,2558896	24,4867793	23,2208398	45,0320703	65,0197813	74,5459766	74,8213672	80,0349688	80,4468281	79,3825391
N1	6,2610708	14,825	23,5459609	23,6274199	44,6218516	65,4674219	74,3798438	0,1607538	80,6282969	80,2841172	80,4149375
N2	6,54372119	15,6731396	25,1141094	23,8724199	46,3858711	66,2325938	76,5976797	77,3306719	81,3219063	82,3364609	81,8266563
N3	6,51790918	16,0458896	25,7344902	24,6662305	47,5206406	68,6562109	78,6722734	79,3035078	84,2860469	84,6218203	83,2742813
N4	6,76496387	17,1890508	27,5873398	25,8245098	50,4293203	71,6741484	83,0139766	84,8618828	87,5618516	88,8806172	86,6357578
N5	6,62512109	18,0320293	29,3912402	27,3356992	54,8797617	76,3699297	88,0634922	91,8976797	92,2895625	94,7398672	91,9176094



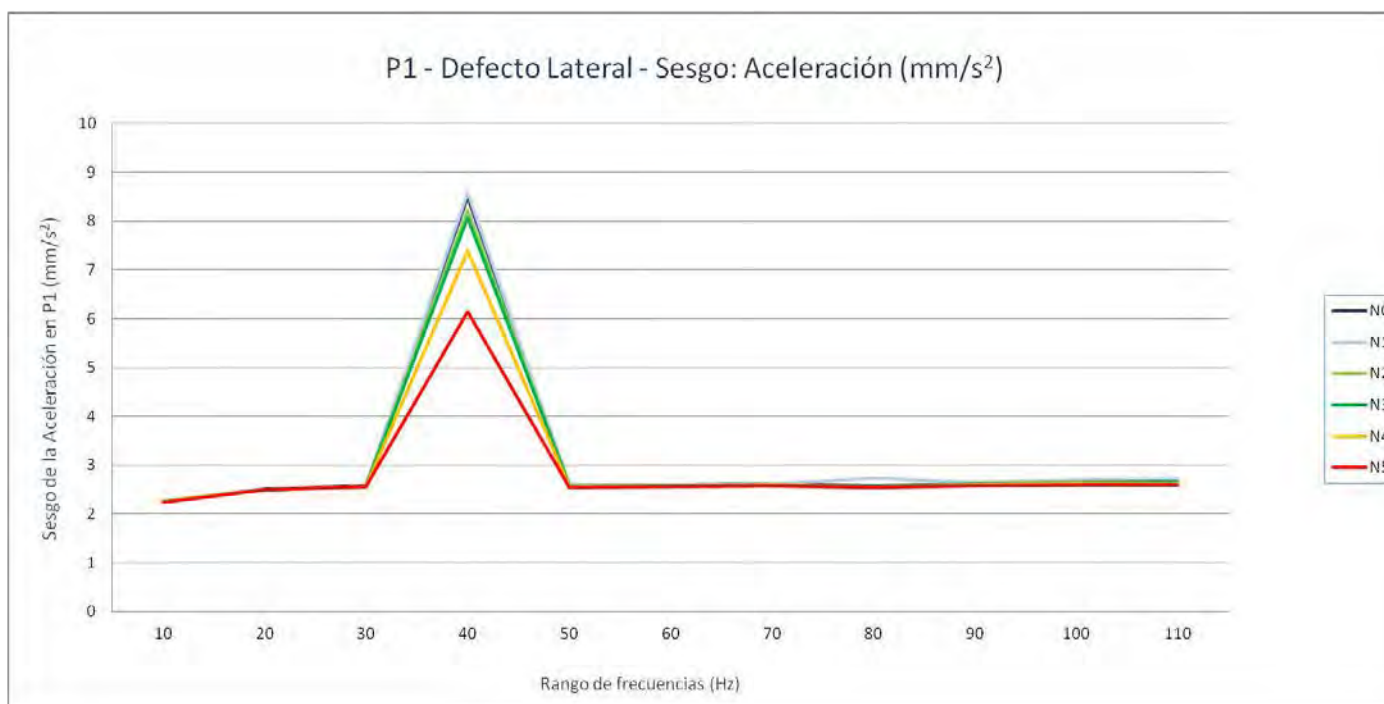
P1. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Coef. Kurtosis

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	7,86351411	9,36197546	9,72230169	92,2525434	9,75452881	9,79022321	9,86801096	9,57923379	9,89405206	10,2866236	10,4098474
N1	7,90947431	9,25849451	9,69451742	94,1584446	9,84748555	9,88390113	9,98845289	10,7860452	10,1580599	10,6537981	10,7999231
N2	7,95414738	9,26723357	9,55370493	87,5684307	9,59025798	9,59355316	9,64931039	9,3677502	9,67522208	10,0496291	10,1726816
N3	7,82886447	9,30017751	9,64825442	85,6505137	9,67261584	9,71410891	9,7962932	9,50983962	9,82155846	10,1653435	10,2850052
N4	7,7944391	9,29921949	9,62999204	74,5645255	9,55606655	9,61730247	9,70033356	9,39407664	9,62122706	9,919467	9,95385714
N5	7,61648905	9,24620039	9,58902177	55,4115642	9,47538479	9,55221021	9,62999249	9,31297292	9,50622116	9,75028392	9,77845194



P1. Grieta lateral - Aceleración (mm/s^2): Sesgo

Nivel de Defecto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N0	2,25807071	2,50577492	2,57108372	8,5010123	2,58899613	2,58804614	2,60888648	2,57209574	2,62120689	2,66295465	2,67193459
N1	2,26480786	2,49112197	2,564279	8,580628	2,59961503	2,59540746	2,62000662	2,73190178	2,65202362	2,70282869	2,713798
N2	2,27331526	2,49912982	2,55590339	8,21799143	2,57088542	2,56774189	2,58587268	2,54885032	2,59654167	2,63704958	2,64640336
N3	2,25383606	2,4989175	2,56237773	8,07267726	2,57904055	2,57909595	2,60032142	2,56416327	2,6128049	2,64855741	2,65820446
N4	2,25197396	2,50017208	2,56315262	7,38779137	2,56535595	2,57010061	2,59111532	2,55129478	2,58860437	2,622082	2,62123487
N5	2,23848282	2,49224414	2,55605946	6,14954662	2,55300854	2,5606294	2,58061985	2,53931702	2,57160693	2,59972361	2,59922856





ANEXO C

Tablas y gráficos: Parámetros Estadísticos

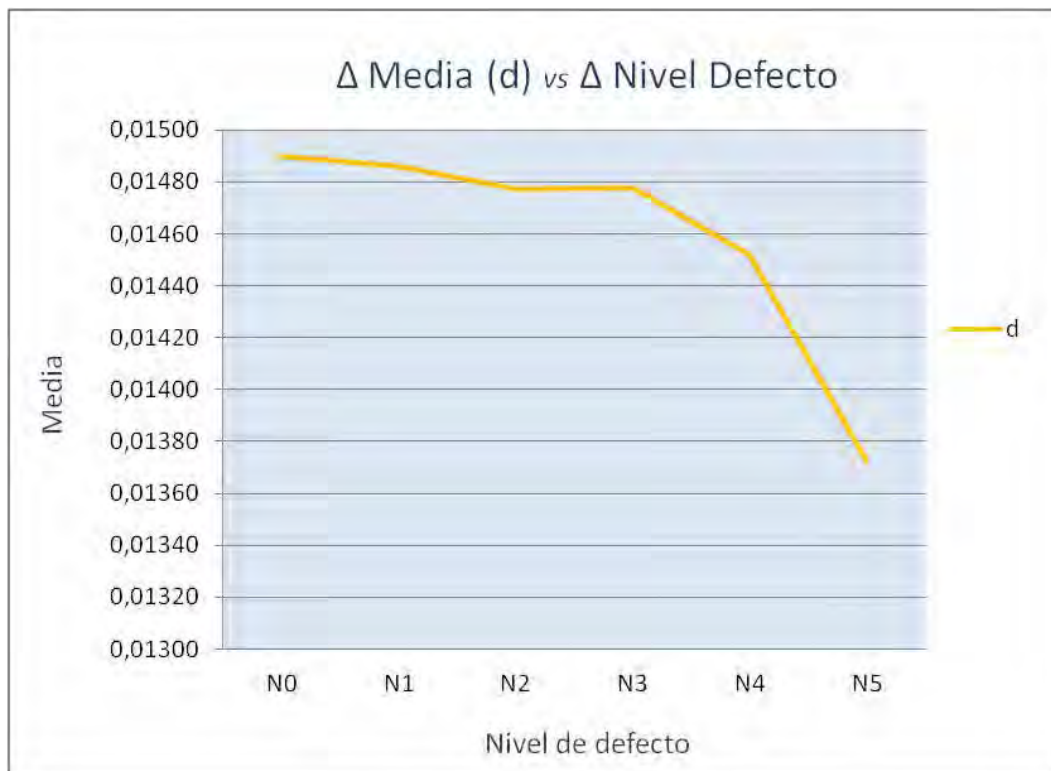


C.1. TABLAS Y GRÁFICOS: PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

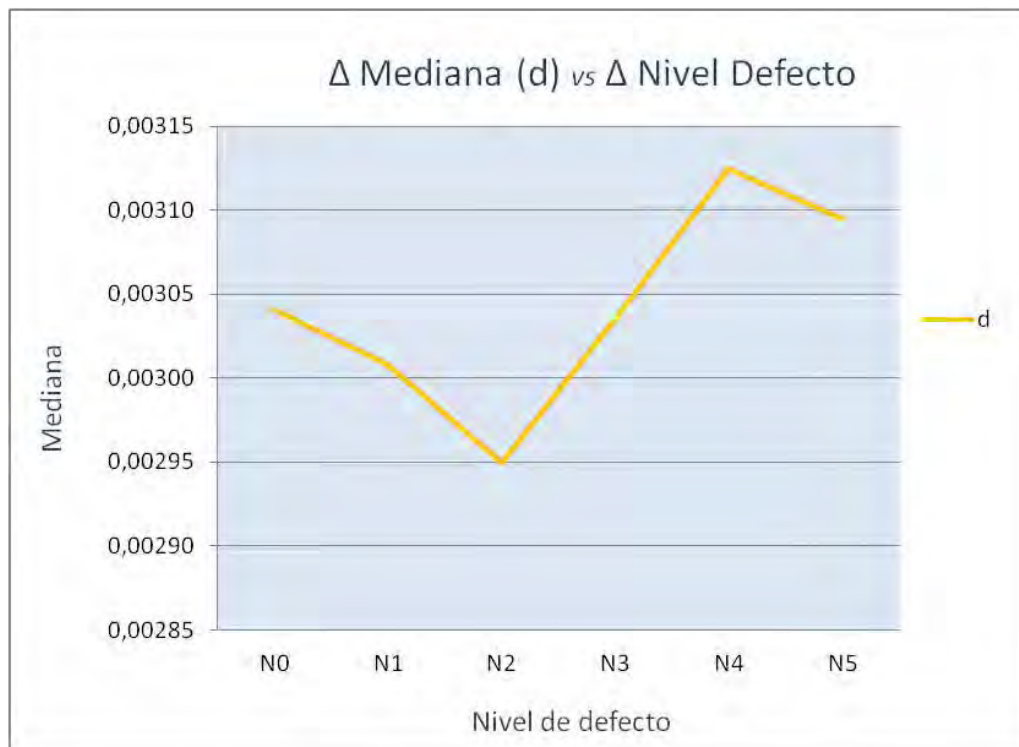
Para conocer que medidas estadísticas nos muestran resultados representativos y de que forma lo hacen; vamos a observar cómo evolucionan de forma cuantitativa y cualitativa la media de estos parámetros, para cada uno de los niveles de defecto y magnitudes evaluadas.

Punto 6 - Defecto Lateral - desplazamiento (mm):

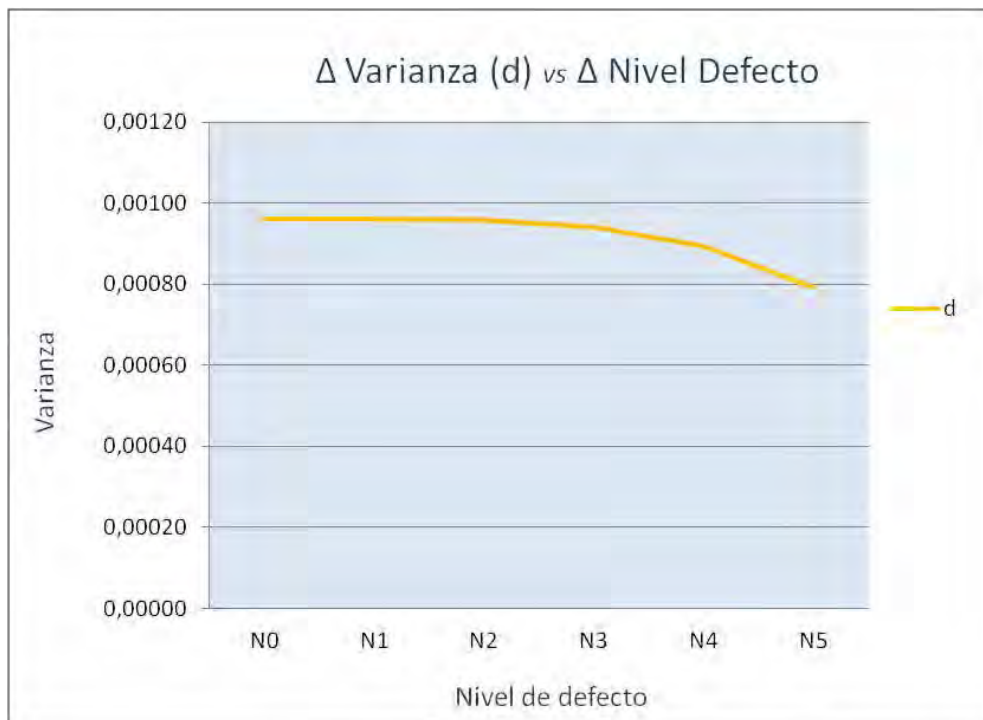
P6 - Defecto lateral - Media - d (mm)		
Nivel de Defecto	d	Δd (%)
N0	0,01490	
N1	0,01486	-0,284%
N2	0,01477	-0,847%
N3	0,01477	-0,838%
N4	0,01452	-2,569%
N5	0,01372	-7,893%



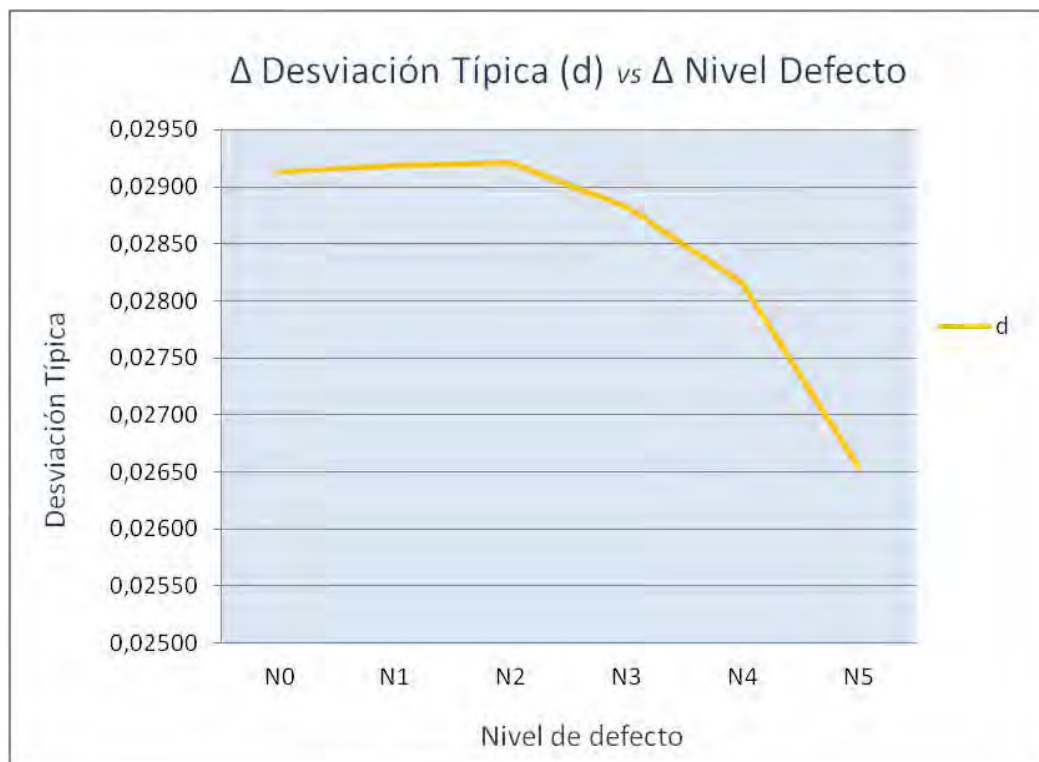
P6 - Defecto lateral - Mediana - d (mm)		
Nivel de Defecto	d	Δd (%)
N0	0,00304	
N1	0,00301	-1,078%
N2	0,00295	-3,005%
N3	0,00304	-0,170%
N4	0,00312	2,763%
N5	0,00309	1,788%



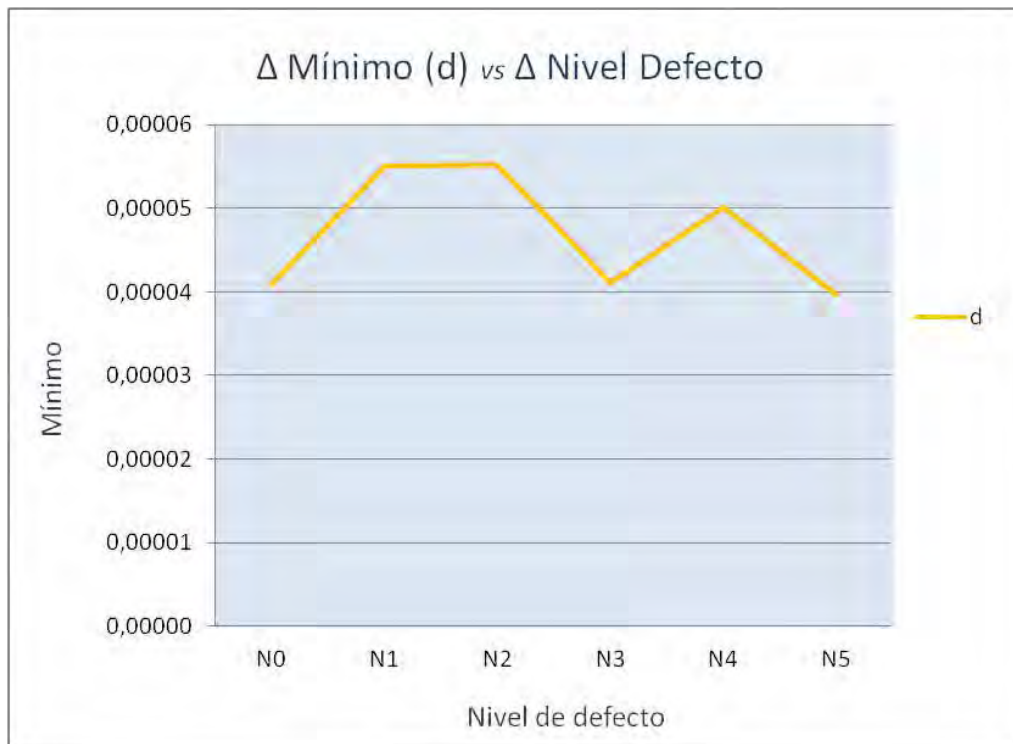
P6 - Defecto lateral - Varianza - d (mm)		
Nivel de Defecto	d	Δd (%)
N0	0,00096	
N1	0,00096	0,104%
N2	0,00096	-0,242%
N3	0,00094	-2,144%
N4	0,00089	-7,014%
N5	0,00079	-17,728%



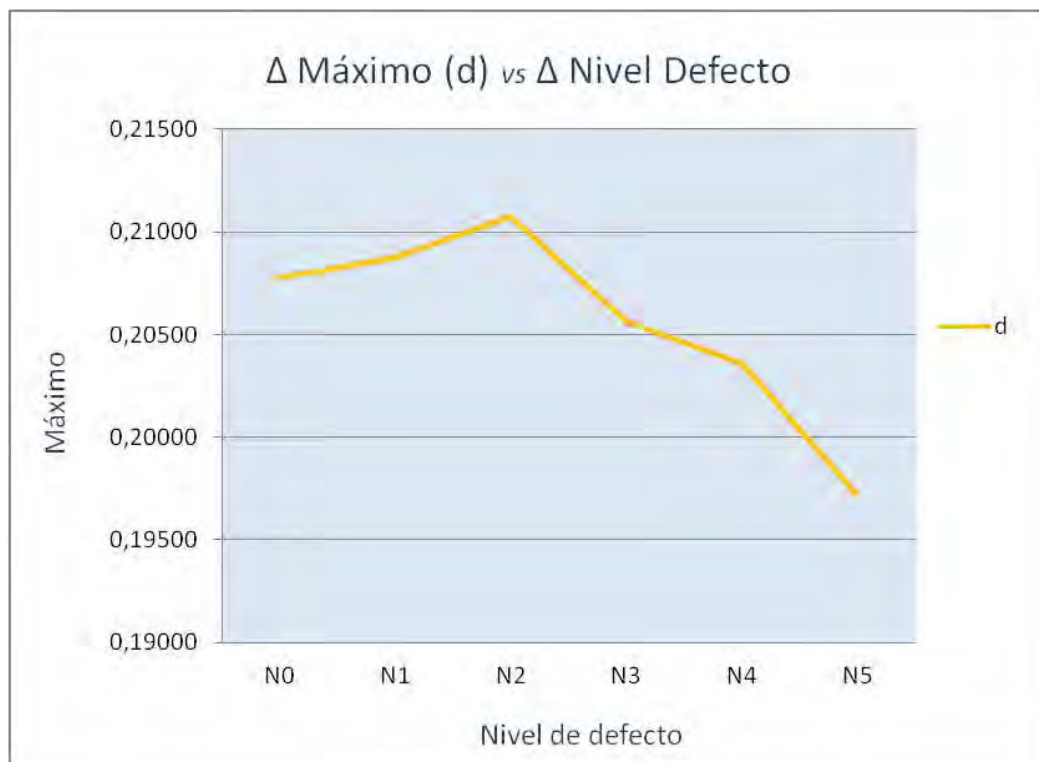
P6 - Defecto lateral - D. Típica - d (mm)		
Nivel de Defecto	d	Δd (%)
N0	0,02914	
N1	0,02918	0,163%
N2	0,02921	0,247%
N3	0,02883	-1,051%
N4	0,02816	-3,364%
N5	0,02655	-8,889%



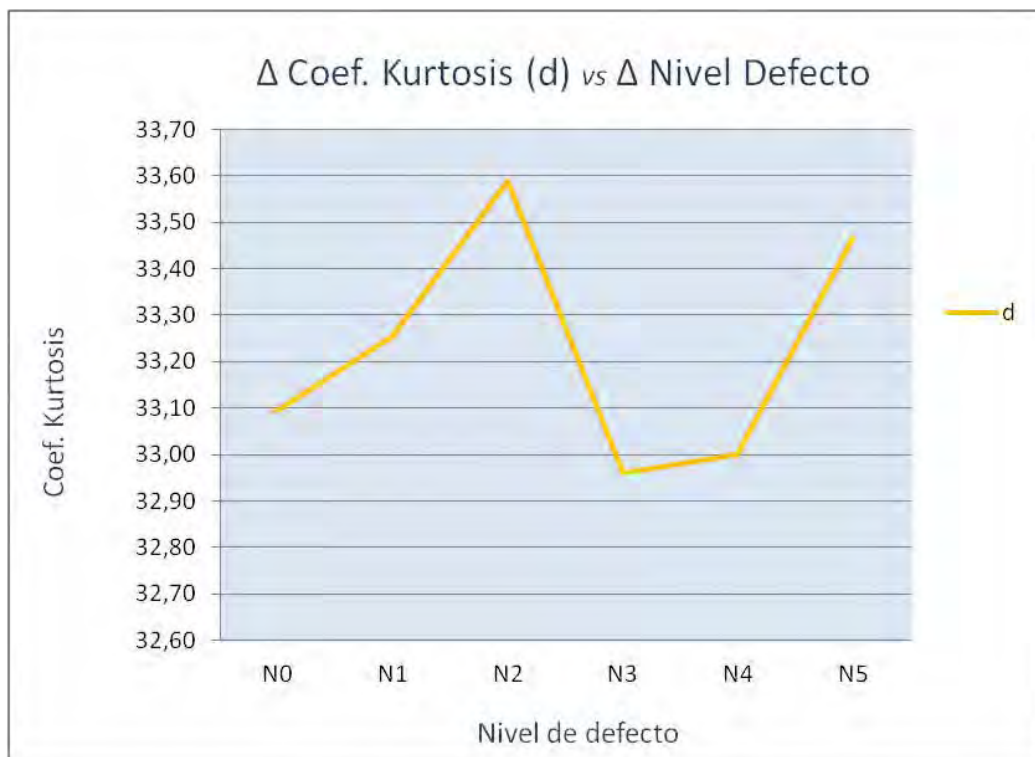
P6 - Defecto lateral - Mínimo - d (mm)		
Nivel de Defecto	d	Δd (%)
N0	0,00004	
N1	0,00006	34,312%
N2	0,00006	34,856%
N3	0,00004	0,225%
N4	0,00005	22,216%
N5	0,00004	-3,219%



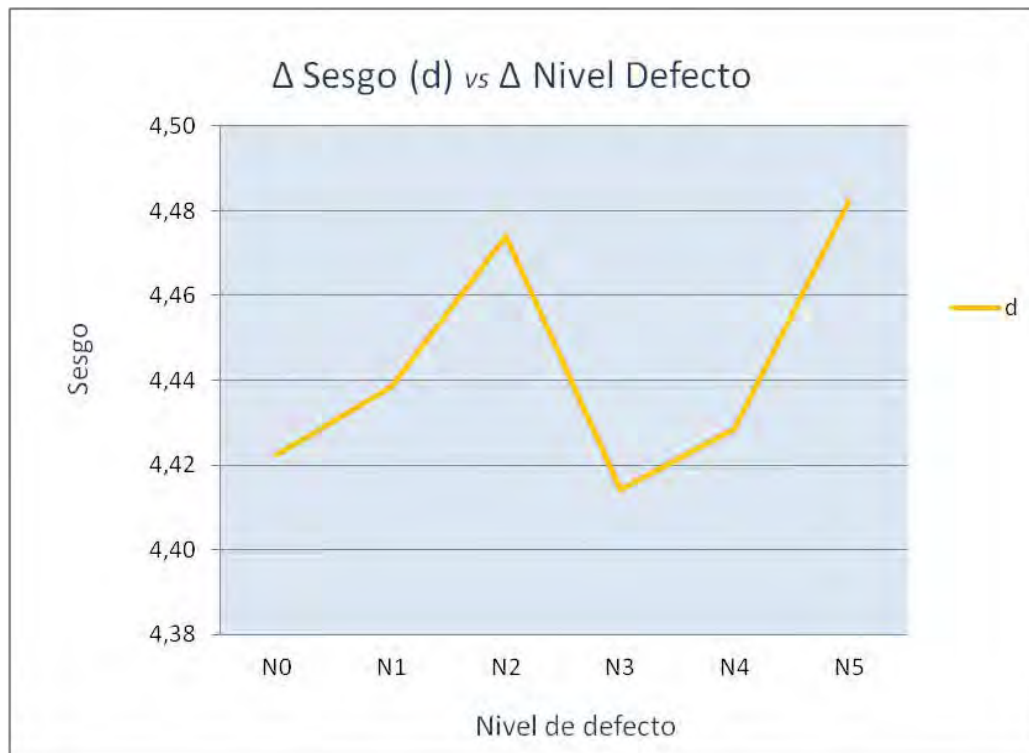
P6 - Defecto lateral - Máximo - d (mm)		
Nivel de Defecto	d	Δd (%)
N0	0,20774	
N1	0,20872	0,474%
N2	0,21076	1,455%
N3	0,20566	-0,999%
N4	0,20355	-2,017%
N5	0,19716	-5,093%



P6 - Defecto lateral - C. Kurtosis - d (mm)		
Nivel de Defecto	d	Δd (%)
N0	33,09	
N1	33,26	0,489%
N2	33,59	1,497%
N3	32,96	-0,406%
N4	33,00	-0,284%
N5	33,47	1,127%

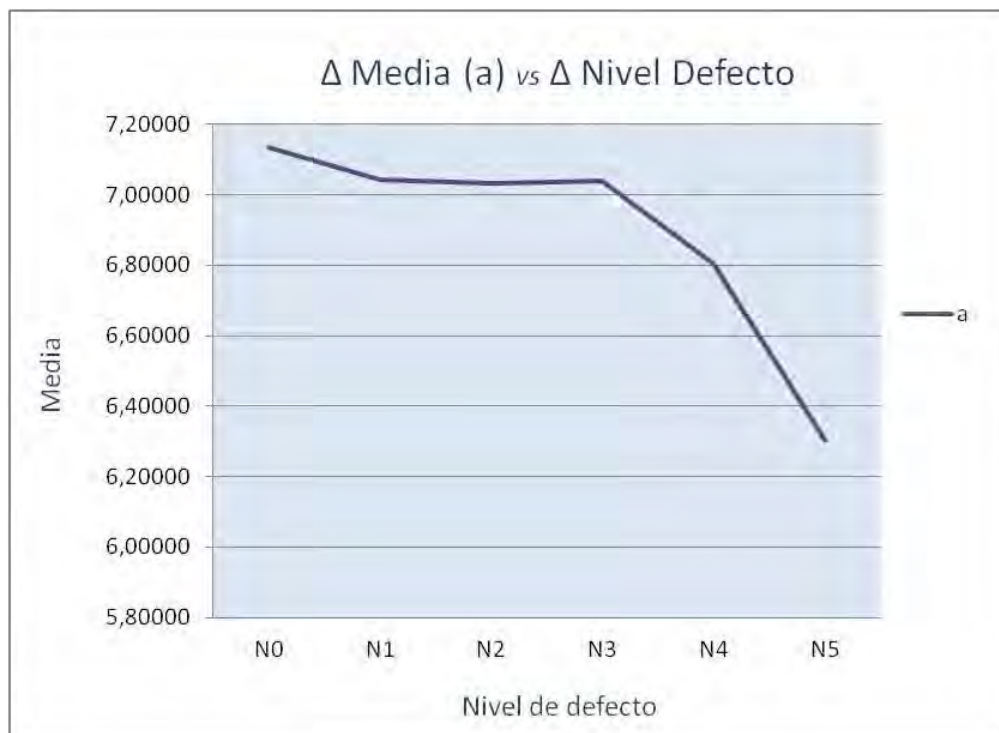


P6 - Defecto lateral - Sesgo - d (mm)		
Nivel de Defecto	d	Δd (%)
N0	4,42	
N1	4,44	0,365%
N2	4,47	1,173%
N3	4,41	-0,182%
N4	4,43	0,141%
N5	4,48	1,357%

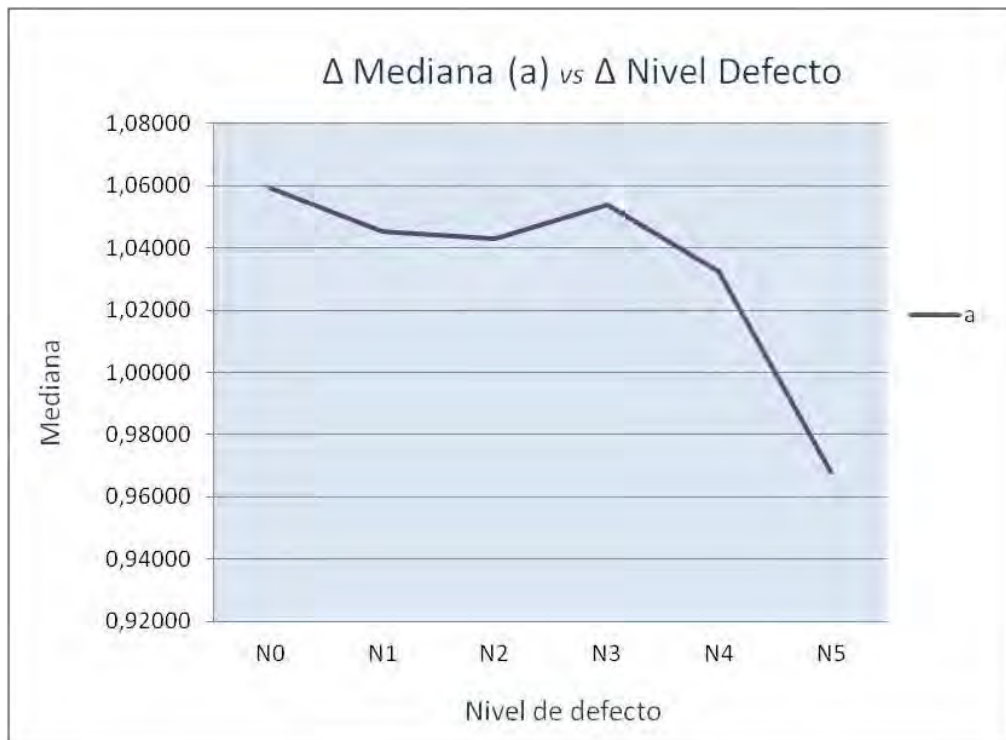


Punto 6 - Defecto Lateral - aceleración (mm/s^2):

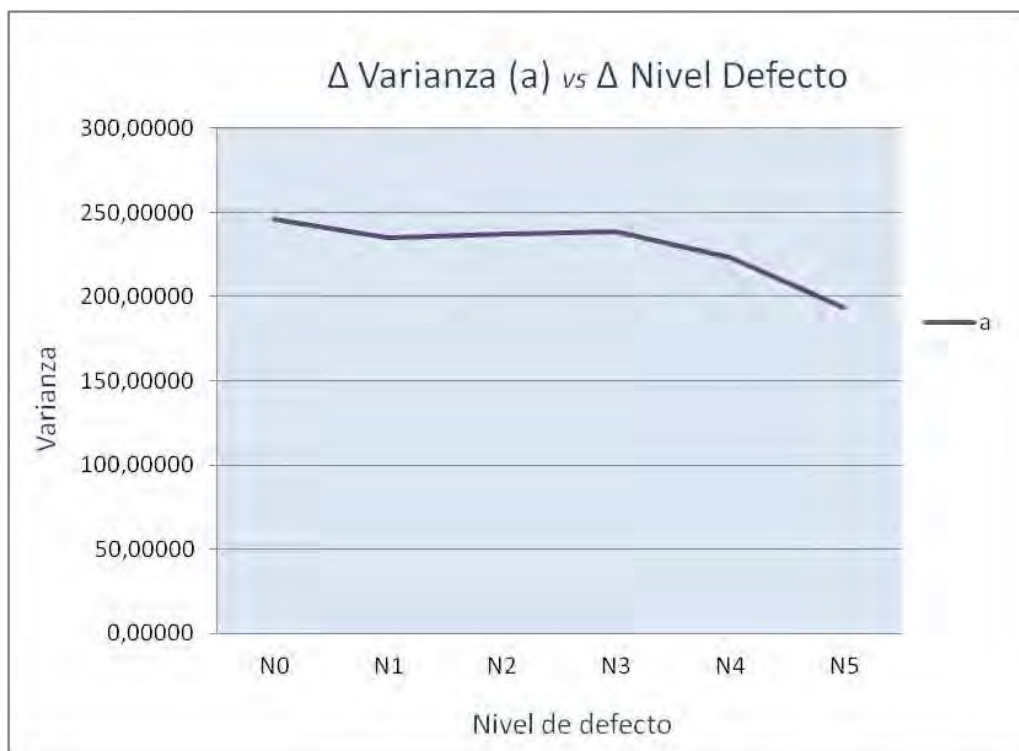
P6 - Defecto lateral - Media - a (mm/s^2)		
Nivel de Defecto	a	Δa (%)
N0	7,13418	
N1	7,04365	-1,269%
N2	7,03316	-1,416%
N3	7,03853	-1,341%
N4	6,80605	-4,599%
N5	6,30318	-11,648%



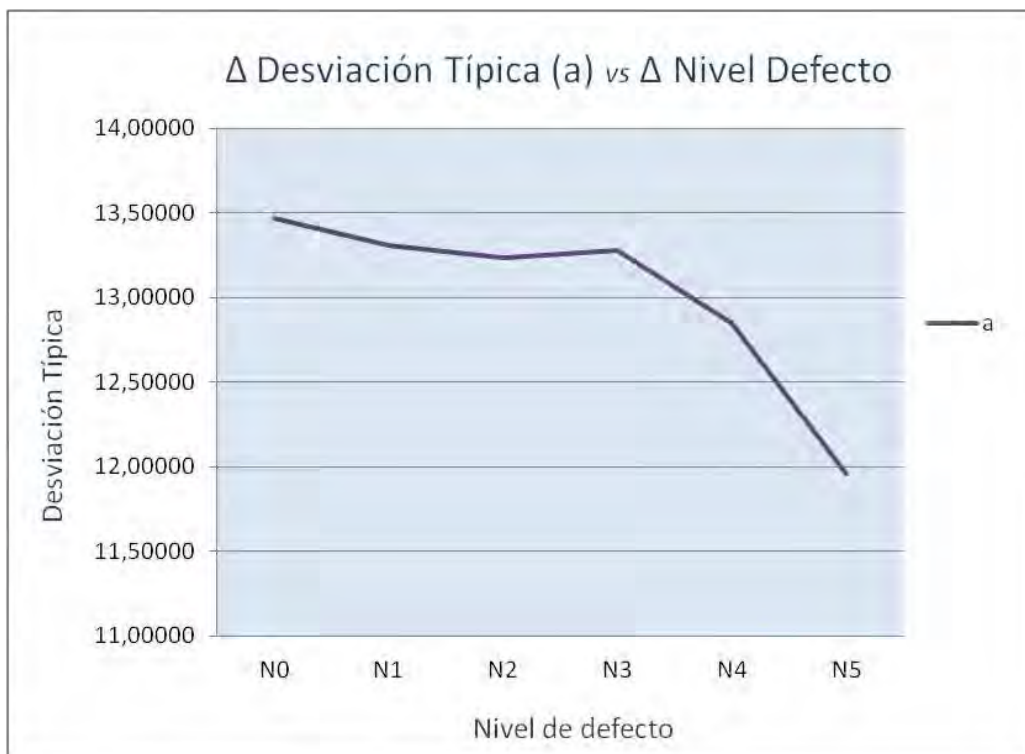
P6 - Defecto lateral - Mediana - a (mm/s ²)		
Nivel de Defecto	a	Δa (%)
N0	1,05946	
N1	1,04549	-1,318%
N2	1,04289	-1,564%
N3	1,05405	-0,511%
N4	1,03239	-2,555%
N5	0,96770	-8,661%



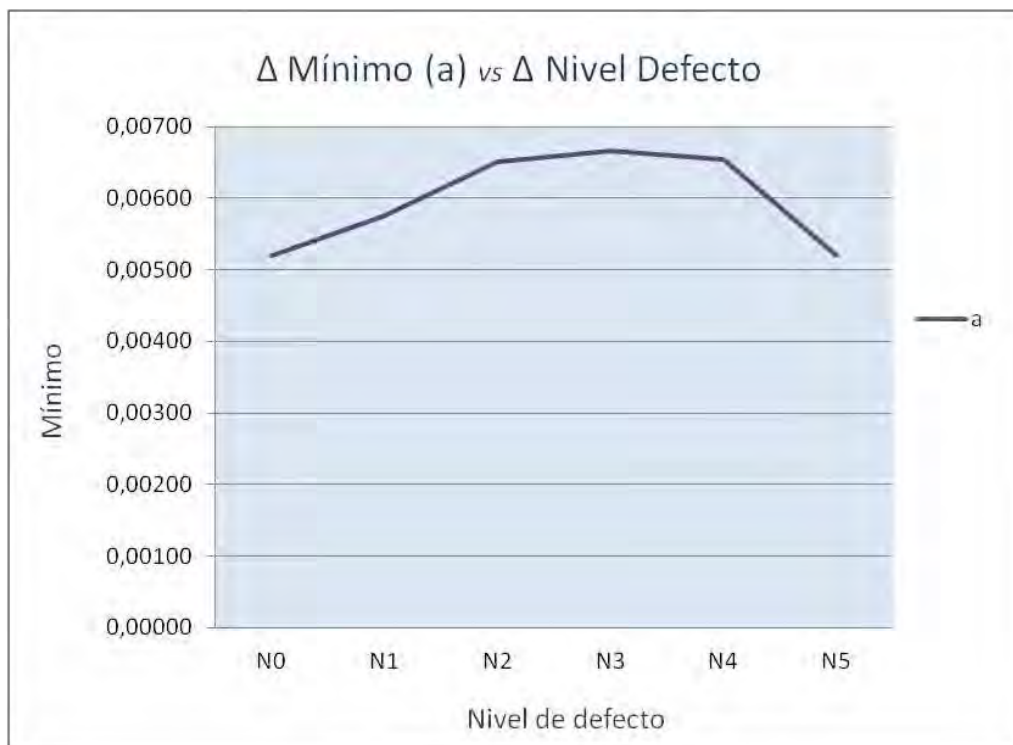
P6 - Defecto lateral - Varianza - a (mm/s ²)		
Nivel de Defecto	a	Δa (%)
N0	245,53619	
N1	235,31169	-4,164%
N2	237,06100	-3,452%
N3	238,63892	-2,809%
N4	223,31964	-9,048%
N5	193,37312	-21,245%



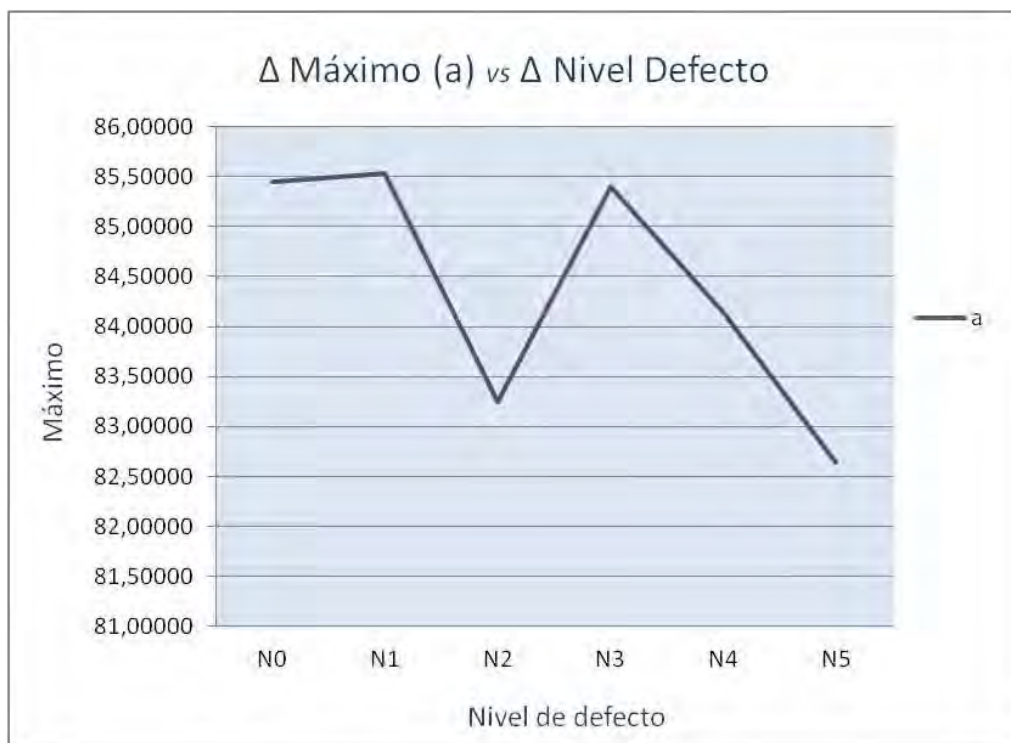
P6 - Defecto lateral - D. Típica - a (mm/s ²)		
Nivel de Defecto	a	Δa (%)
N0	13,46615	
N1	13,31065	-1,155%
N2	13,23215	-1,738%
N3	13,27754	-1,401%
N4	12,84692	-4,598%
N5	11,95406	-11,229%



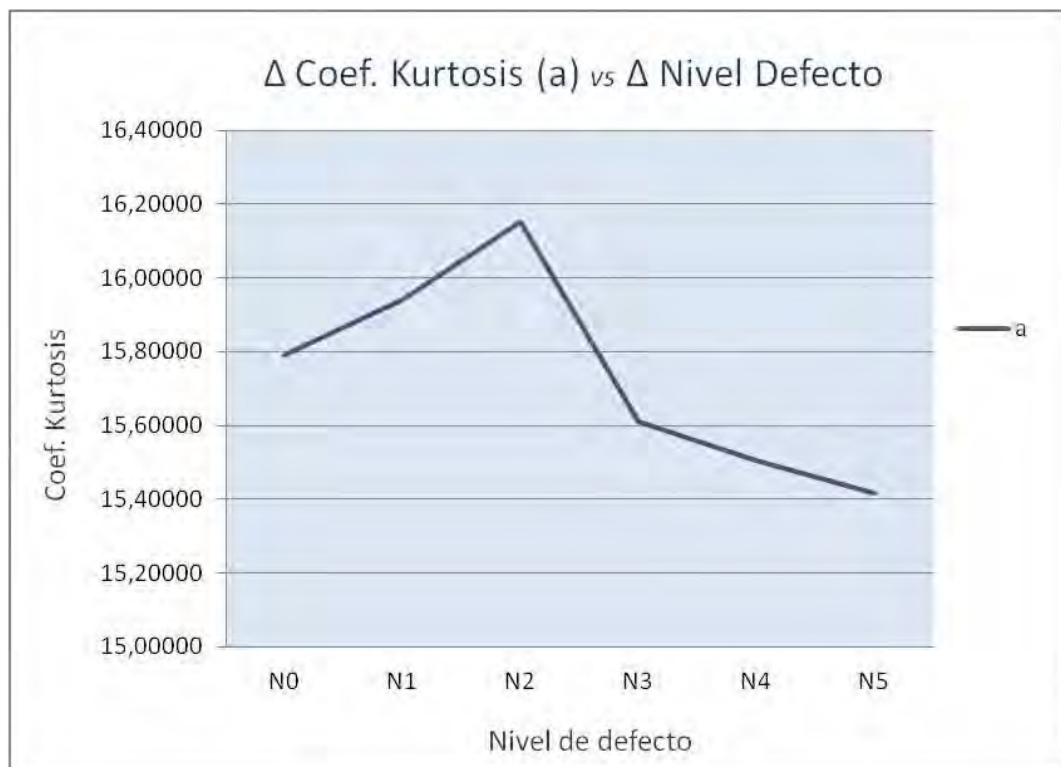
P6 - Defecto lateral - Mínimo - a (mm/s ²)		
Nivel de Defecto	a	Δa (%)
N0	0,00519	
N1	0,00576	10,940%
N2	0,00651	25,367%
N3	0,00666	28,390%
N4	0,00654	26,029%
N5	0,00520	0,145%



P6 - Defecto lateral - Máximo - a (mm/s ²)		
Nivel de Defecto	a	Δa (%)
N0	85,45269	
N1	85,53208	0,093%
N2	83,24974	-2,578%
N3	85,39427	-0,068%
N4	84,12896	-1,549%
N5	82,64355	-3,287%



P6 - Defecto lateral - C. Kurtosis - a (mm/s ²)		
Nivel de Defecto	a	Δa (%)
N0	15,79050	
N1	15,94058	0,950%
N2	16,15313	2,297%
N3	15,61045	-1,140%
N4	15,50450	-1,811%
N5	15,41726	-2,364%



P6 - Defecto lateral - Sesgo - a (mm/s ²)		
Nivel de Defecto	a	Δa (%)
N0	3,08296	
N1	3,09370	0,348%
N2	3,09654	0,440%
N3	3,07489	-0,262%
N4	3,07340	-0,310%
N5	3,09089	0,257%

